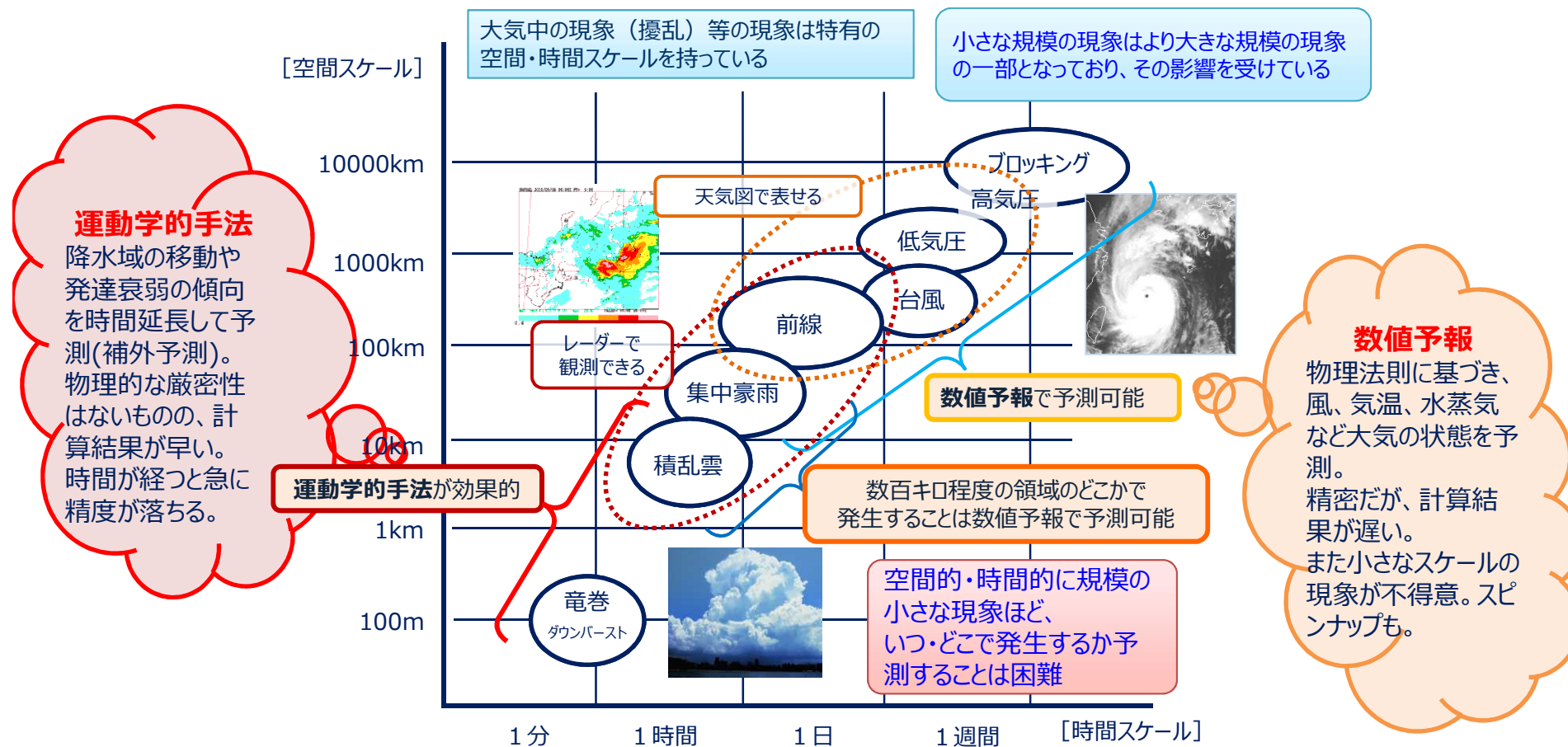


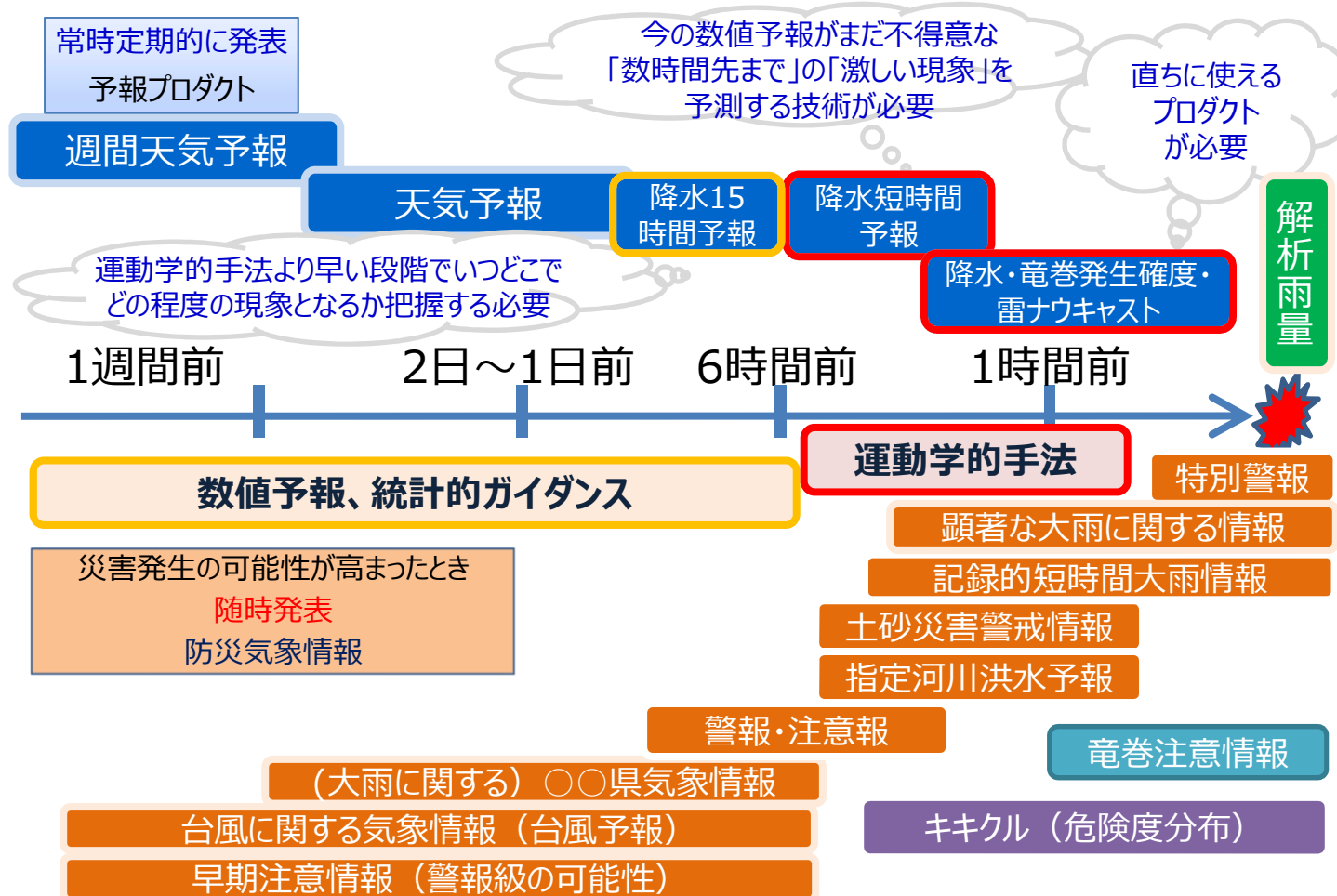
雨量から指数へ ～解析雨量、降水短時間予報～

大気海洋部 業務課 気象技術開発室

気象情報が扱う現象のスケールとそれに応じた予測手法



気象庁が発表する防災気象情報



雨に関するプロダクト

～解析、運動学的手法による予測～

プロダクト名	更新間隔／更新時刻	出力要素／出力時間	メッシュサイズ	主な入力データ	気象庁HPのページ提供開始年
①解析雨量	正規版： 30分毎／約15分後 速報版： 10分毎／約6分後	1時間降水量	1km	気象庁レーダー（Cバンド）、 国交省レーダー雨量計※（Cバンド）、 AMeDAS、部外雨量計、	JMA HP「今後の雨」 正規版：平成18年3月 速報版：平成29年7月
②降水短時間予報	正規版： 30分毎／約18分後 速報版： 10分毎／約8分後	1時間降水量／6時間先まで		上のデータに加えて、 MSM（1時間降水量、風、気温、比湿） LFM（1時間降水量） MSM・LFMガイダンス（平均降水量、最大降水量）	JMA HP「今後の雨」 正規版：平成18年3月 速報版：平成30年3月
降水15時間予報	1時間毎／約19分後	1時間降水量／7～15時間先まで	5km	MSM ガイダンス（平均降水量、最大降水量） LFM ガイダンス（最大降水量）	JMA HP「今後の雨」 平成30年6月
解析積雪深・解析降雪量、降雪短時間予報	1時間毎／約22分後	積雪深・1時間降雪量予報は、0～6時間先まで	5km	解析雨量／降水短時間予報、 積雪計、 LFM(地上気温・湿度・風速等)	JMA HP「今後の雪」 解析：令和元年11月 予測：令和3年11月
高解像度降水ナウキャスト（解析＆予測）	5分毎／約4分後	5分毎の降水強度・降水量／0～60分先まで	30分先までの陸上は250m、それ以外は1km	気象庁レーダー（Cバンド）、 国交省レーダー雨量計※（X/Cバンド）、 AMeDAS、部外雨量計、WINDAS、 地上・高層観測、GNSS可降水量等	JMA HP「雨雲の動き」 平成26年8月
雷ナウキャスト	10分間隔／約5分後	10分間の雷活動度と発雷の可能性／0～60分先まで	1km	気象庁レーダー（Cバンド）、 LIDEN、ひまわり等	JMA HP「雨雲の動き」 平成22年5月
竜巻発生確度ナウキャスト	10分間隔／約5分後	10分間の竜巻発生確度／0～60分先まで	10km	気象庁レーダー（Cバンド）、 MSM/LFM突風関連指数	JMA HP「雨雲の動き」 平成22年5月
降水ナウキャスト	降水強度： 5分毎／約4分後 10分間降水量： 10分毎／約5分後	降水強度・10分間降水量／60分先まで	1km	気象庁レーダー（Cバンド）、 AMeDAS 等	平成23年3月(5分化) 平成16年6月

※「国交省レーダー雨量計」は国土交通省が設置する雨量を観測するレーダーです。

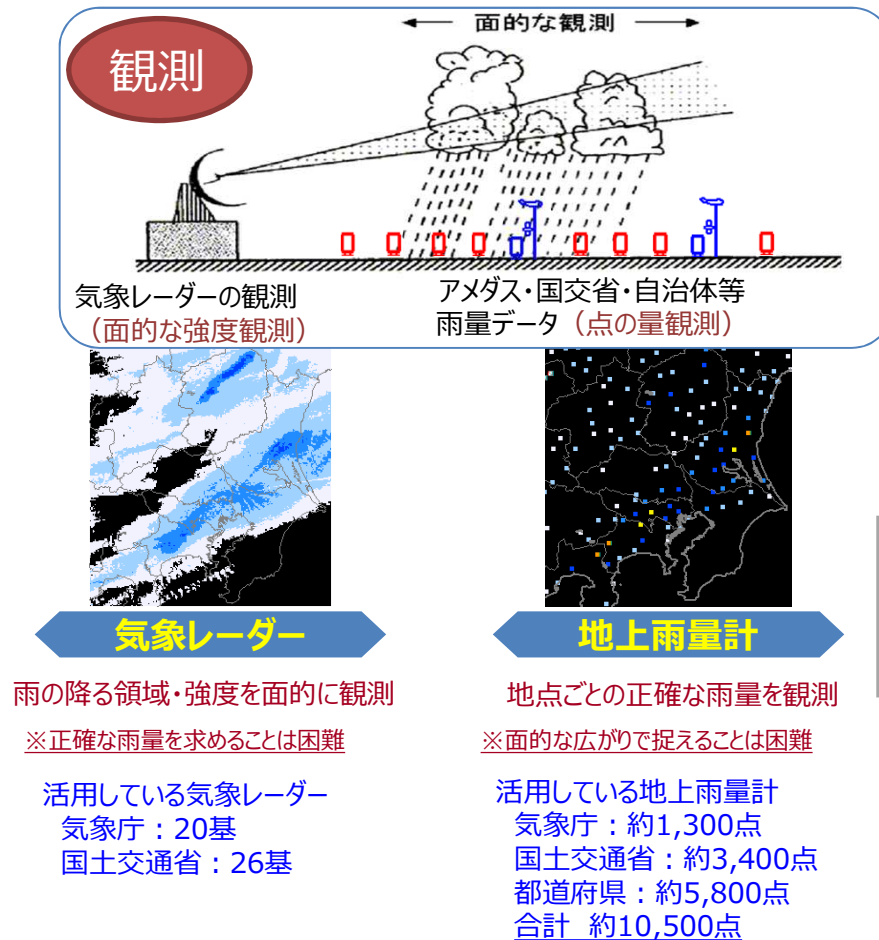
降水ナウキャストの気象庁HPでの表示は令和3年2月24日に終了しました。1時間先までの降水の強さは「雨雲の動き」のページで高解像度降水ナウキャストをご覧ください。

①解析雨量とは

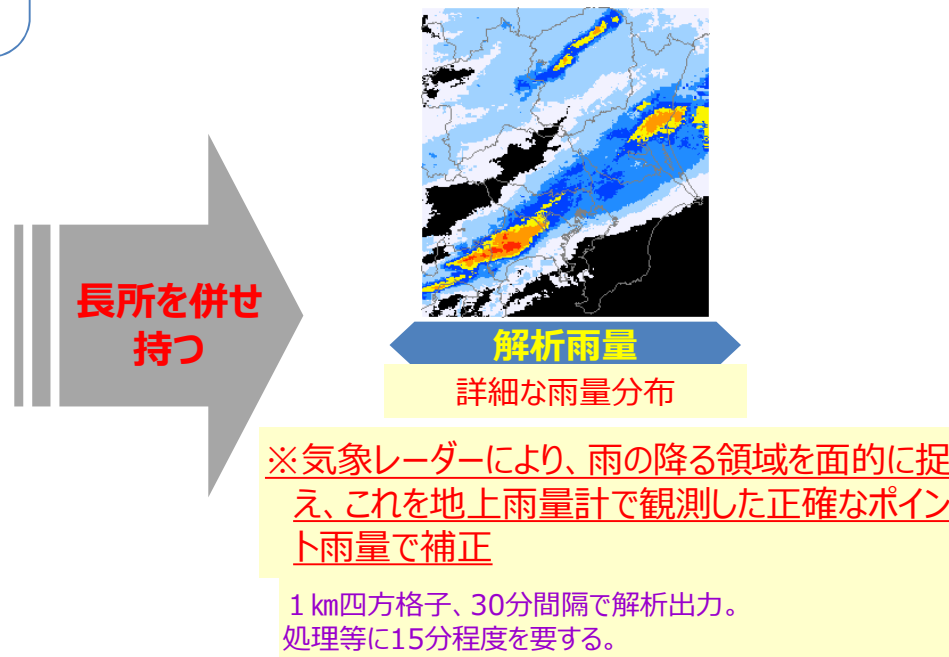
- 国土交通省水管理・国土保全局、道路局と気象庁が全国に設置している気象レーダーと、アメダスおよび自治体等の地上の雨量計を組み合わせ、1時間降水量の分布を1km四方の細かさで解析したもの
- 解析雨量は、降水状況の監視に利用されるほか、降水短時間予報や指数（土壌／流域／表面）の計算にも利用される
- 平成29年7月に、従来の30分ごとに作成される解析雨量に加えて、速報性を重視し、10分ごとに解析を行う「速報版解析雨量」も運用開始。



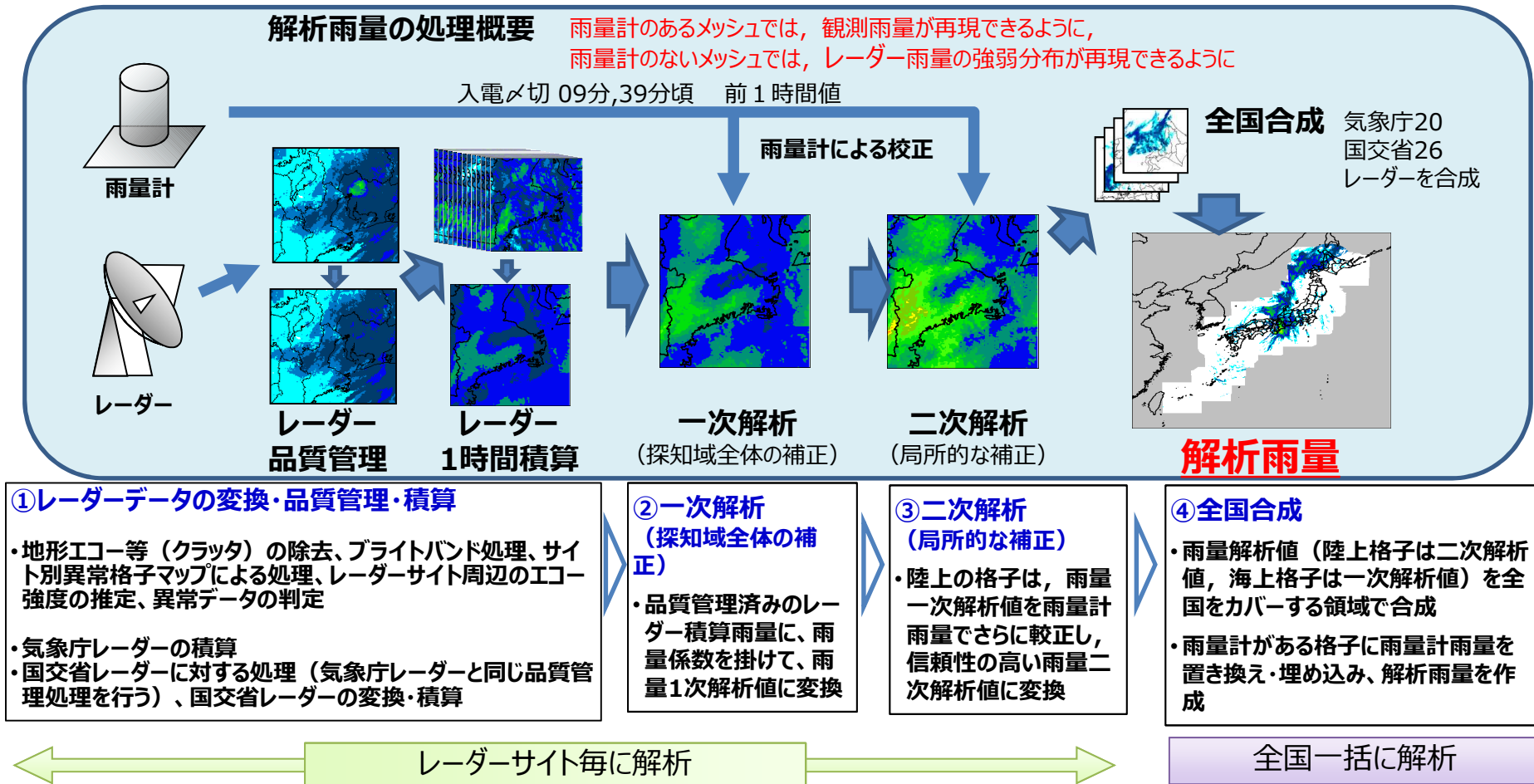
解析雨量の概要



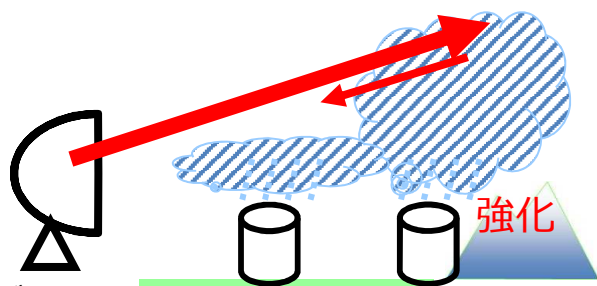
気象レーダーと地上の雨量計の観測の結果を組み合わせ、1 km四方の細かさで解析した雨量。



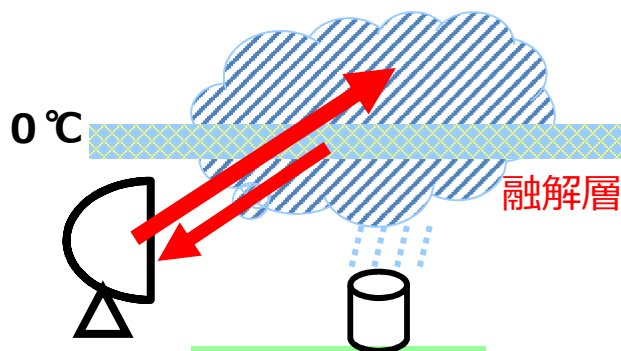
解析雨量の処理の流れ



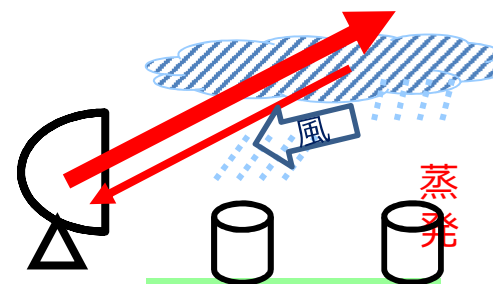
レーダーの誤差の例



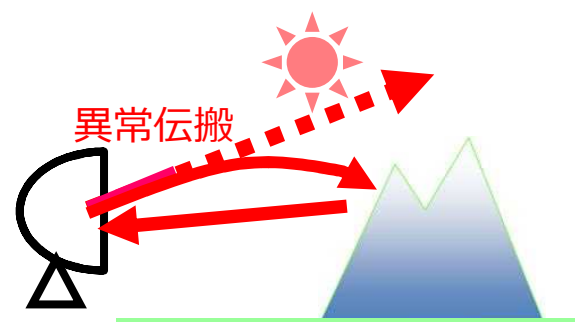
- レーダーの観測高度より低いところに雨雲があると捕えられない
- 地形により低い高度で強化



- 雪から雨に変わる高度でレーダー反射強度が異常に強まる(ブライトバンド)



- 途中で雨が蒸発して、地上では雨量を観測しない(上空エコー)
- 上空の風で降る位置が変わる



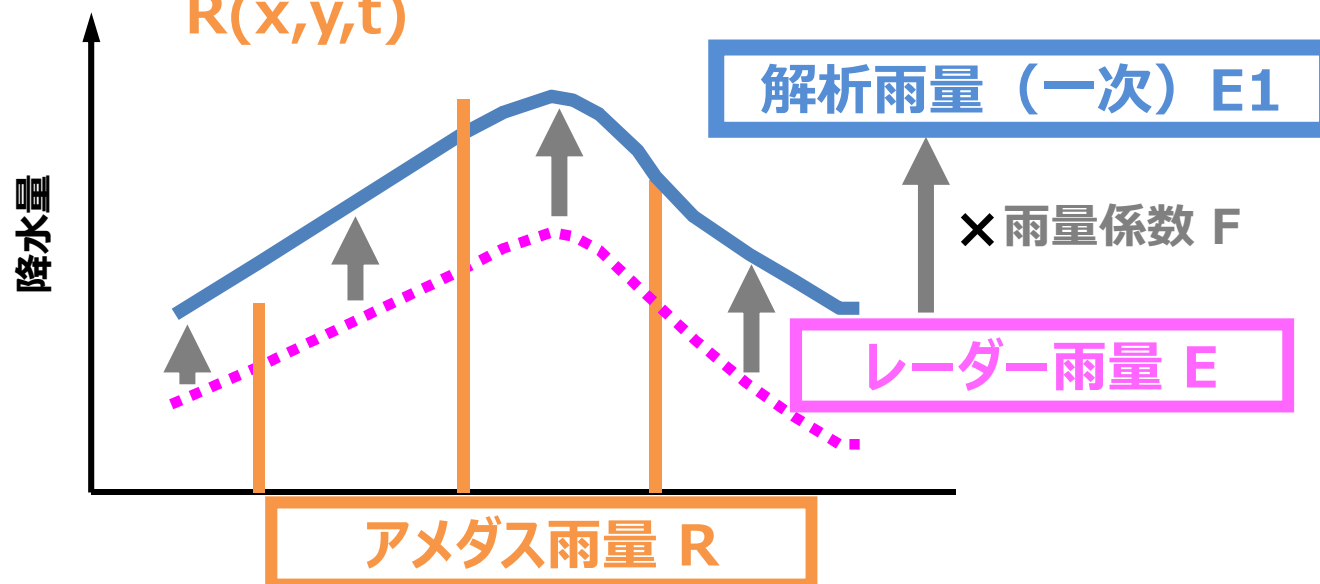
- 電波の異常伝搬により地形エコーやシークラッタが映る
- その他(強雨減衰、航空機、鳥・虫、樹木)

解析雨量の一次解析

レーダー雨量 E を アメダス雨量 R で補正

一般に： $E(x,y,t) \cdot R(x,y,t)$

$$E1(x,y,t) = F(x,y,t) \times E(x,y,t) \sim R(x,y,t)$$



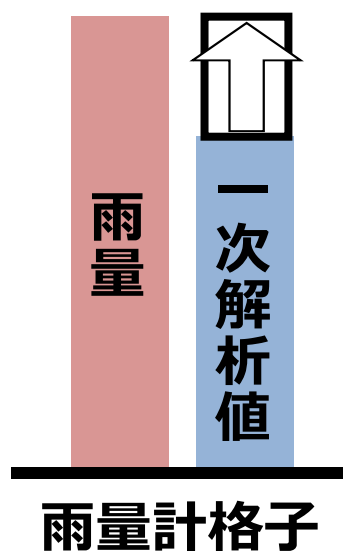
レーダー観測領域全体として、平均的に雨量計の観測から推定される降水分布に一致するようなレーダー雨量係数 (F) を決定するため、アメダスとアメダス格子のレーダーデータの比を求めて平均する。

解析雨量の二次解析

①全ての雨量計格子毎に、仮の二次補正係数を計算

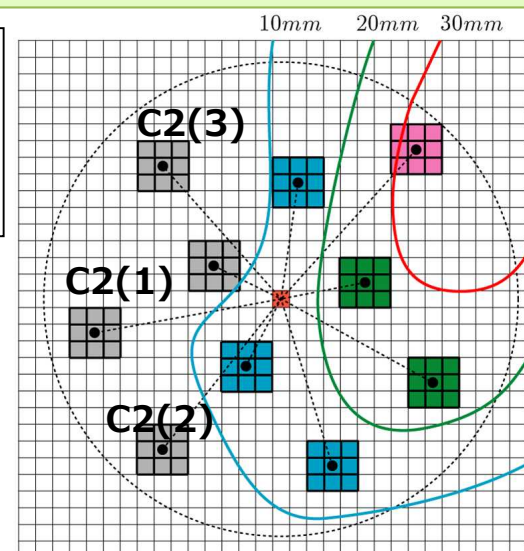
$$R(i) = C2(i) \times E1(i)$$

$R(i)$: 雨量 (雨量計)
 $E1(i)$: 雨量一次解析値
 $C2(i)$: 仮の二次補正係数

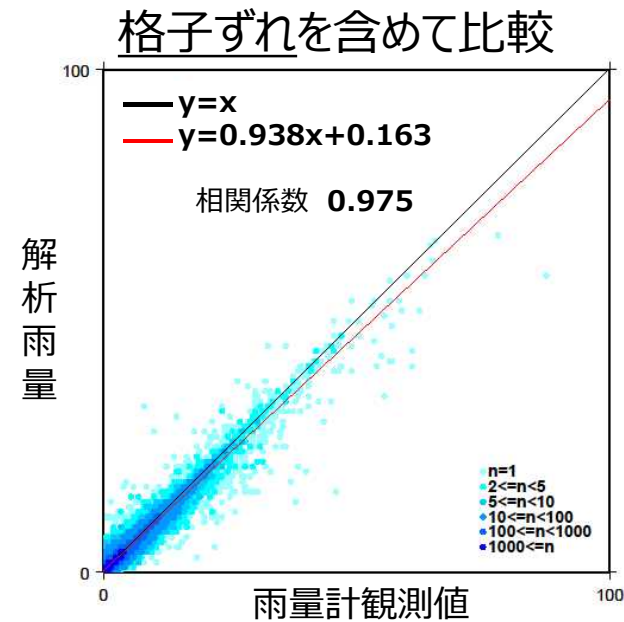
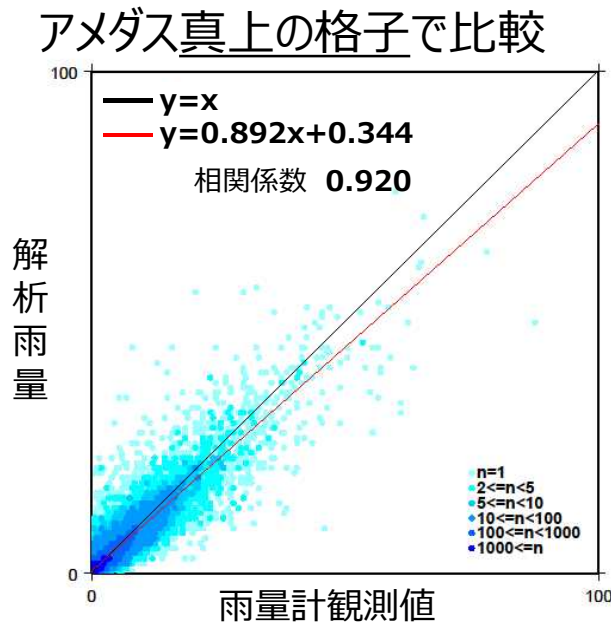


②陸上の全ての格子毎に、二次補正係数を計算

東西南北50km以内に
含まれる、①で計算した
仮の二次補正係数を重
み付内挿



解析雨量における精度比較（アメダス検証）



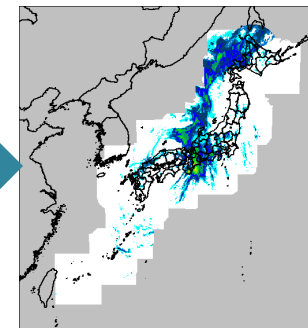
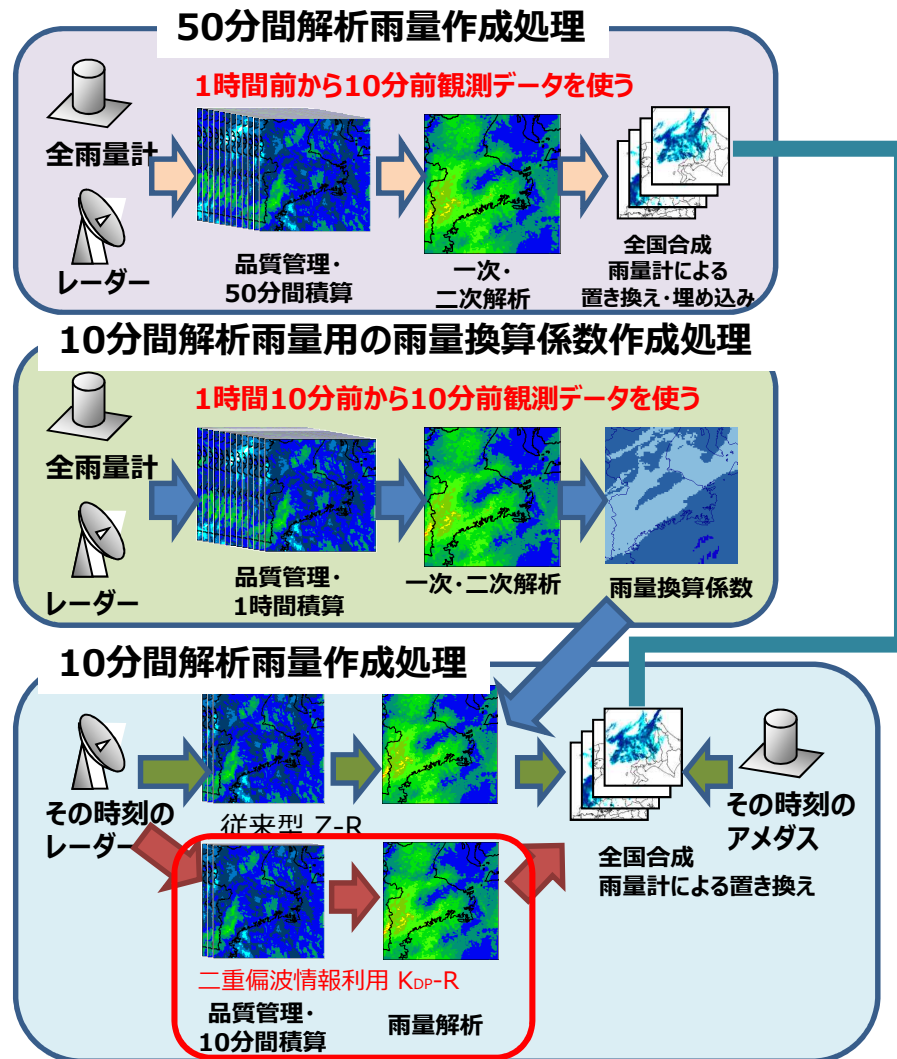
（検証方法）

アメダス観測点の2割程度を使用せずに解析雨量を作成し、その地点の観測雨量と解析値をプロットする。

（結果）

1 格子ずれを含めると、相関係数0.975の高い精度が期待される。

速報版解析雨量



速報版解析雨量

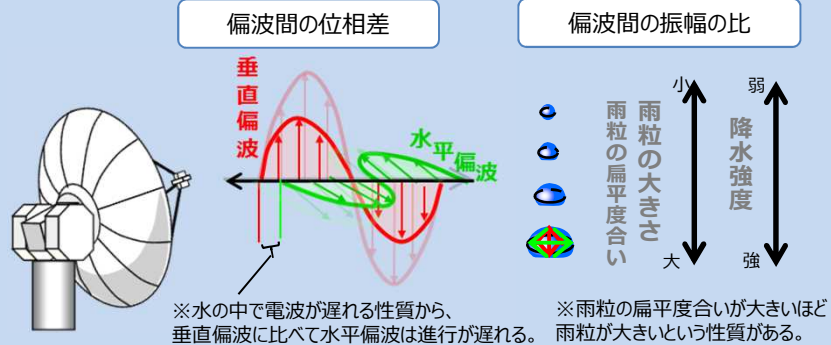
速報版解析雨量は精度維持と速報性のため、**実時間での解析である50分間解析雨量**と、**10分前の解析を使う10分間解析雨量**を組み合わせる1時間雨量を作成する。

速報版は10分前の雨量換算係数で補正するが、以下のレーダーサイトでは二重偏波情報を利用した雨量解析手法 (K_{DP-R}) も利用する

二重偏波情報を利用しているレーダーサイト
東京、釧路、仙台、名古屋、福井、大阪、広島、福岡、種子島、室戸岬、沖縄、松江

二重偏波情報を利用した降水強度推定の導入

二重偏波レーダーの仕組み



二重偏波レーダーへの更新により、反射強度の情報に加え、以下の新たな観測情報が利用可能となる。

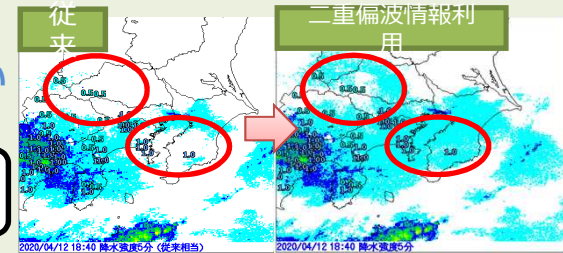
- ✓ 偏波間の振幅の比の情報
→ 振幅の比から雨粒や非降水性粒子の形状がわかることを利用した品質管理
- ✓ 偏波間の位相差情報
→ 電波の経路上で生じる位相差を活用して反射強度の減衰量を推定
→ レーダーからの距離ごとの位相差の変化量から強い降水をより高精度で推定
- ✓ 位相・振幅の比の変動情報
→ ノイズや地形等からの散乱波は位相・振幅が安定せず変動する性質を利用して品質管理

解析雨量、降水短時間予報の初期値に導入

降水強度を正確に推定

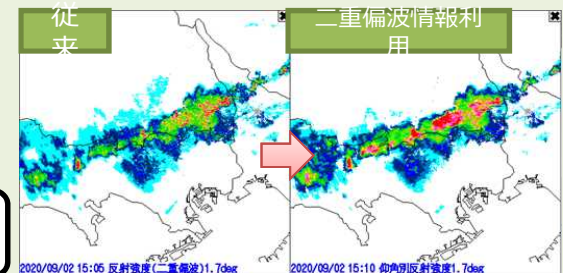
- ① 品質管理能力が大幅に向上しノイズと区別した**弱い雨**の情報を抽出

レーダー更新時に適用済み

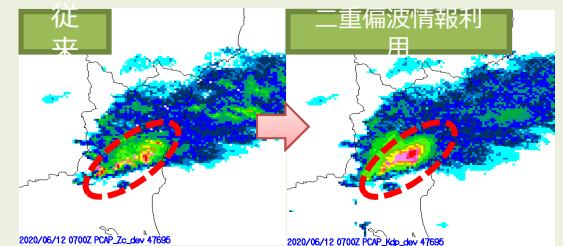


- ② 雨による電波の反射強度の減衰の影響（過少評価）を補正した**降水強度分布**を作成

レーダー更新時に適用済み



- ③ 雨粒の大きさではなく雨の量を測ることにより高い精度で**強雨域**の降水強度推定



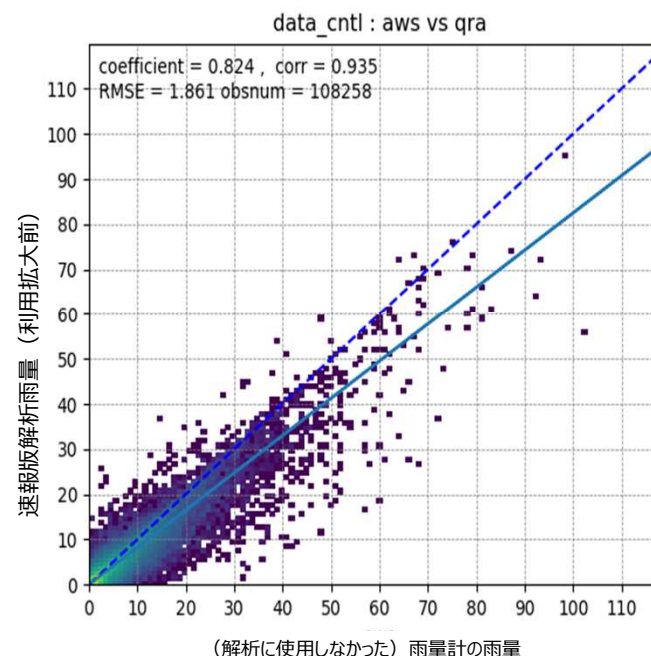
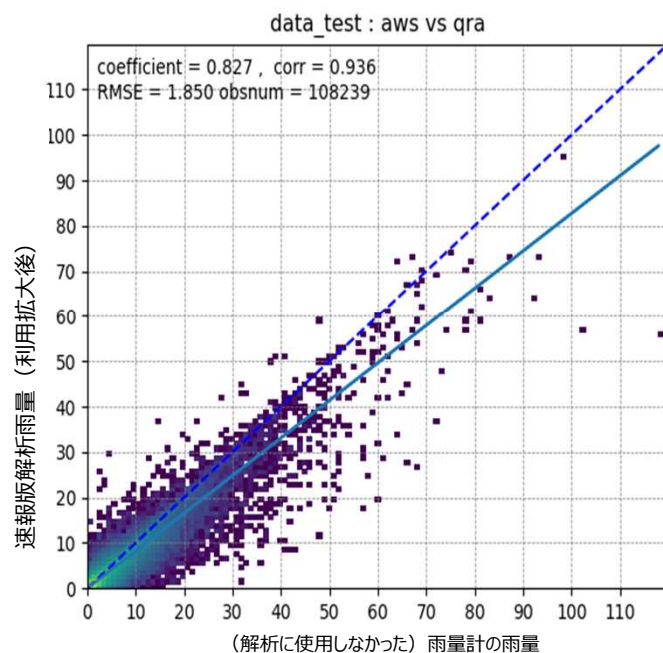
二重偏波利用による速報版解析雨量の精度改善

～雨量計との比較による精度評価～

二重偏波利用サイトを1サイトから10サイトに拡大した際に利用拡大前後で精度を比較したところ、若干上回る精度となった

利用拡大前：RMSE 1.861, 相関 0.935, 回帰直線の傾き 0.824

利用拡大後：RMSE 1.850, 相関 0.936, 回帰直線の傾き 0.827



二重偏波情報利用サイト

利用拡大前：東京のみ (R4.3より利用)

利用拡大後：釧路、仙台、名古屋、福井、大阪、広島、福岡、種子島、室戸岬を追加 (R5.5より利用)

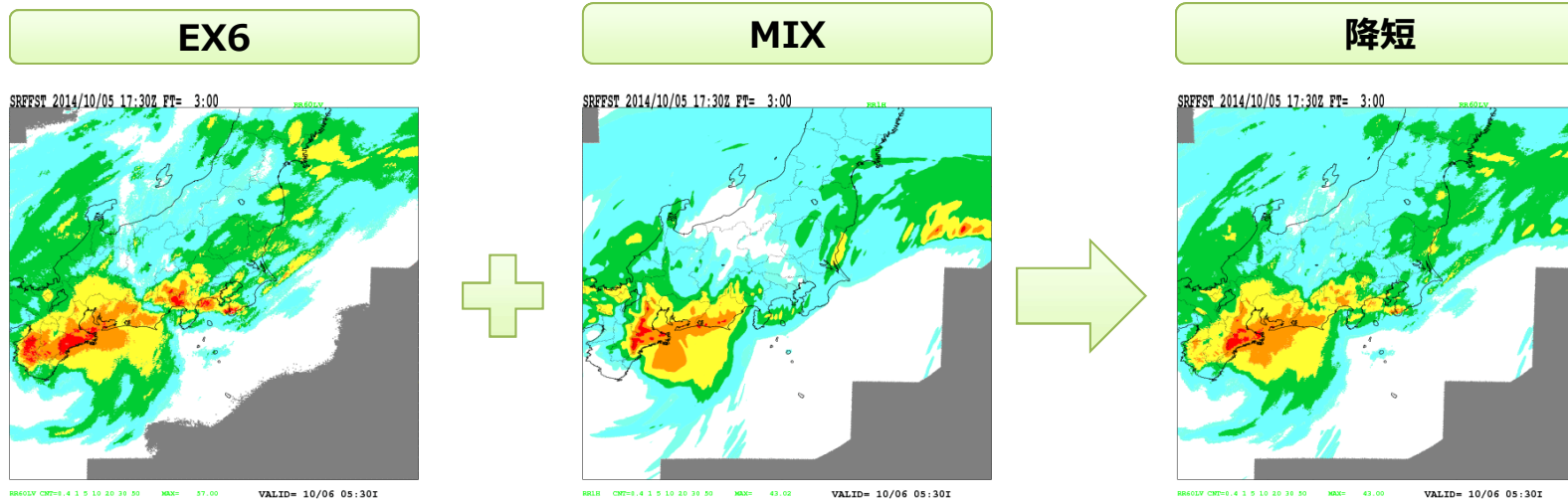
※R6.8現在、沖縄と松江の2サイトでも二重偏波情報を利用

解析雨量を利用する上での注意点

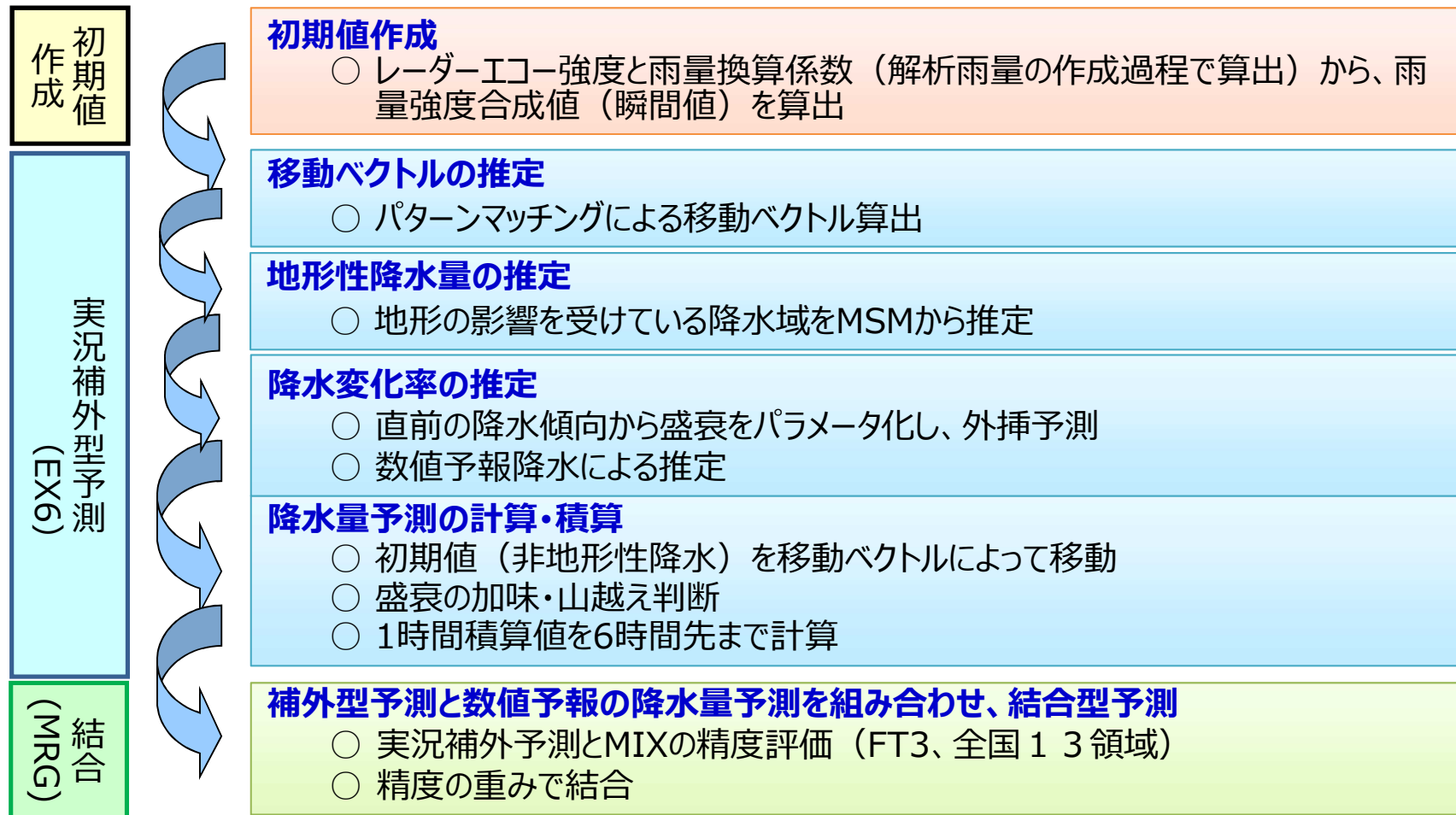
-
- The diagram consists of a light green rectangular box on the left containing a numbered list of 9 points. To the right of this box, three red curly braces group the points into three categories. The first brace groups points 1 and 2, with the label '解析雨量の精度に起因' (Caused by the accuracy of analyzed rainfall). The second brace groups points 3 through 8, with the label 'レーダーの観測特性に起因' (Caused by the observation characteristics of the radar). The third brace groups point 9, with the label '雨量計の利用方法に起因' (Caused by the method of using the rain gauge).
1. 強い雨に対しては、1mm/h単位の精度を持たない
 2. 数格子程度の位置ずれを生じることがある
 3. 水平スケールが小さく、激しい対流性の降水では精度がやや落ちる
 4. 高度2000m以下の層雲からの降水は完全には捕捉出来ない
 5. レーダービームの遮蔽や減衰などによる誤差は完全にはカバー出来ない
 6. レーダーの異常データが取り込まれることがある
 7. グラウンドクラッターの消え残りが大きな解析雨量となることがある
 8. シークラッターが解析雨量に取り込まれることがある（特に沖合い）
 9. 解析雨量と、その格子内の雨量計データはかなり異なることがある（解析雨量の方が雨量が大きくなる場合がある）
- 解析雨量の精度に起因
- レーダーの観測特性に起因
- 雨量計の利用方法に起因

②降水短時間予報（降短）とは

- 最新のレーダー雨量を初期値とし、過去の解析雨量から求めた**雨域移動速度**を用い、地形による**雨雲の発達や衰弱**を加味して予測した降水量（実況補外予測：EX6）と、LFMとMSMの降水量予測値（ガイダンスまたはGPV）を重み付き平均した降水量予測値（MIX）とを組み合わせることにより、**6時間先までの1時間ごとの降水量を1 km四方で予報**するもの
- 平成30年3月に、従来の30分ごとに作成されるものに加えて、速報性を重視し、10分ごとに作成する「速報版降水短時間予報」が開始された。



降水短時間予報の処理の流れ

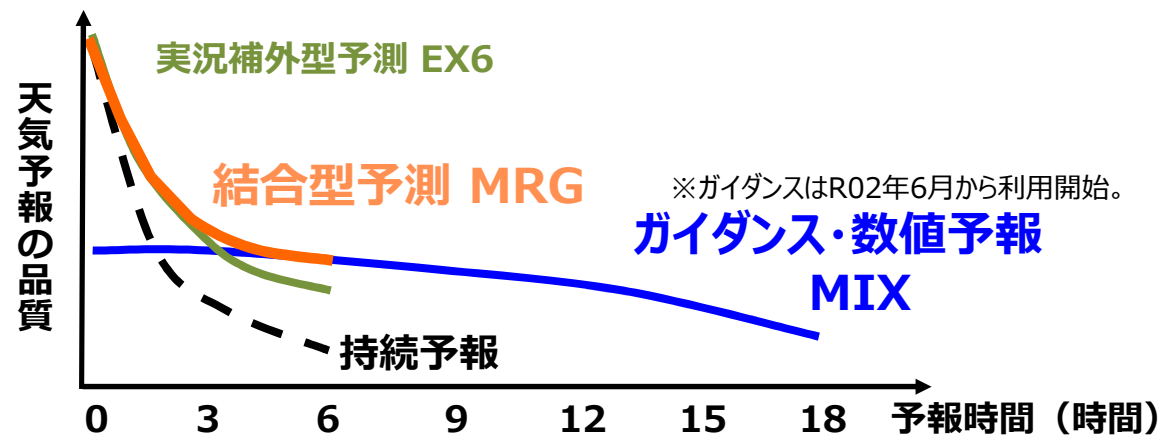


降水短時間予報は結合型予測 MRG

- 目先1～3時間の予測は、実況補外が有効
- 数時間先からは数値予報モデルが有効

両者の利点を活かし

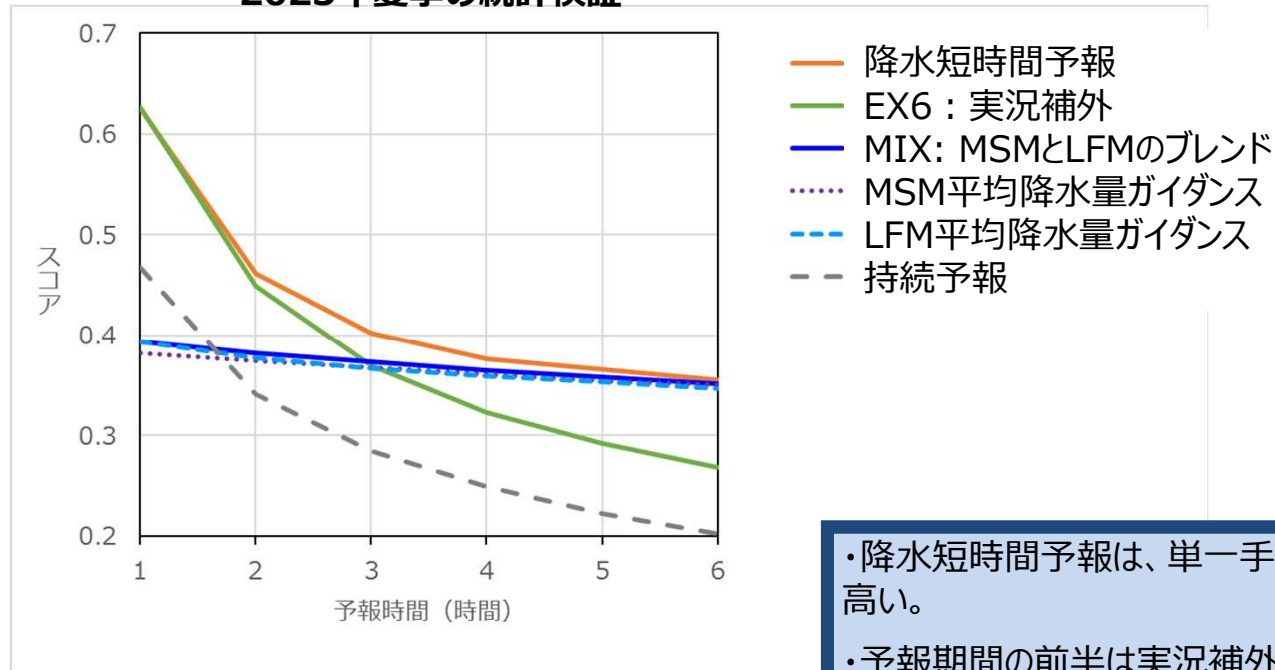
実況補外予測と数値予報を、精度によって加重平均



天気予報の品質（精度×きめ細かさ）と予報時間の関係の模式図

降水短時間予報の検証結果

2023年夏季の統計検証



- ・降水短時間予報は、単一手法よりも統計的な精度が高い。
- ・予報期間の前半は実況補外の精度が良いが、後半は数値予報モデルを使った予測精度の方が良い

スレットスコア

期間：2023年6～8月、領域：日本の陸上のみ
条件：5km平均で1mm以上の雨量を対象

降水短時間予報の特性

➤ 全般

- ・ 一般に、最新初期値の方が過去初期値より精度が高い

➤ 目先(1～3h程度)の予報: EX6 の比重が大きい

- ・ 大規模な降水系に対する予測は信頼性が高い
- ・ 急激に発達・衰弱する小規模な降水の予測精度は不十分

⇒ 量的予報に利用可能だが、実況監視も必要
高頻度で更新するナウキャストも有効

➤ 予報後半(4h以降): 徐々に数値予報の比重が大きくなる

- ・ EX6・数値予報単体よりも、平均的な精度が高い
- ・ 降水域が広がったり、強雨域が表現されにくい傾向がある
加重平均の欠点
- ・ 場合によって不自然な降水分布になることがある

予報値間のばらつきの問題

⇒ MSM・LFM の監視、位置ずれ等の考慮が有効

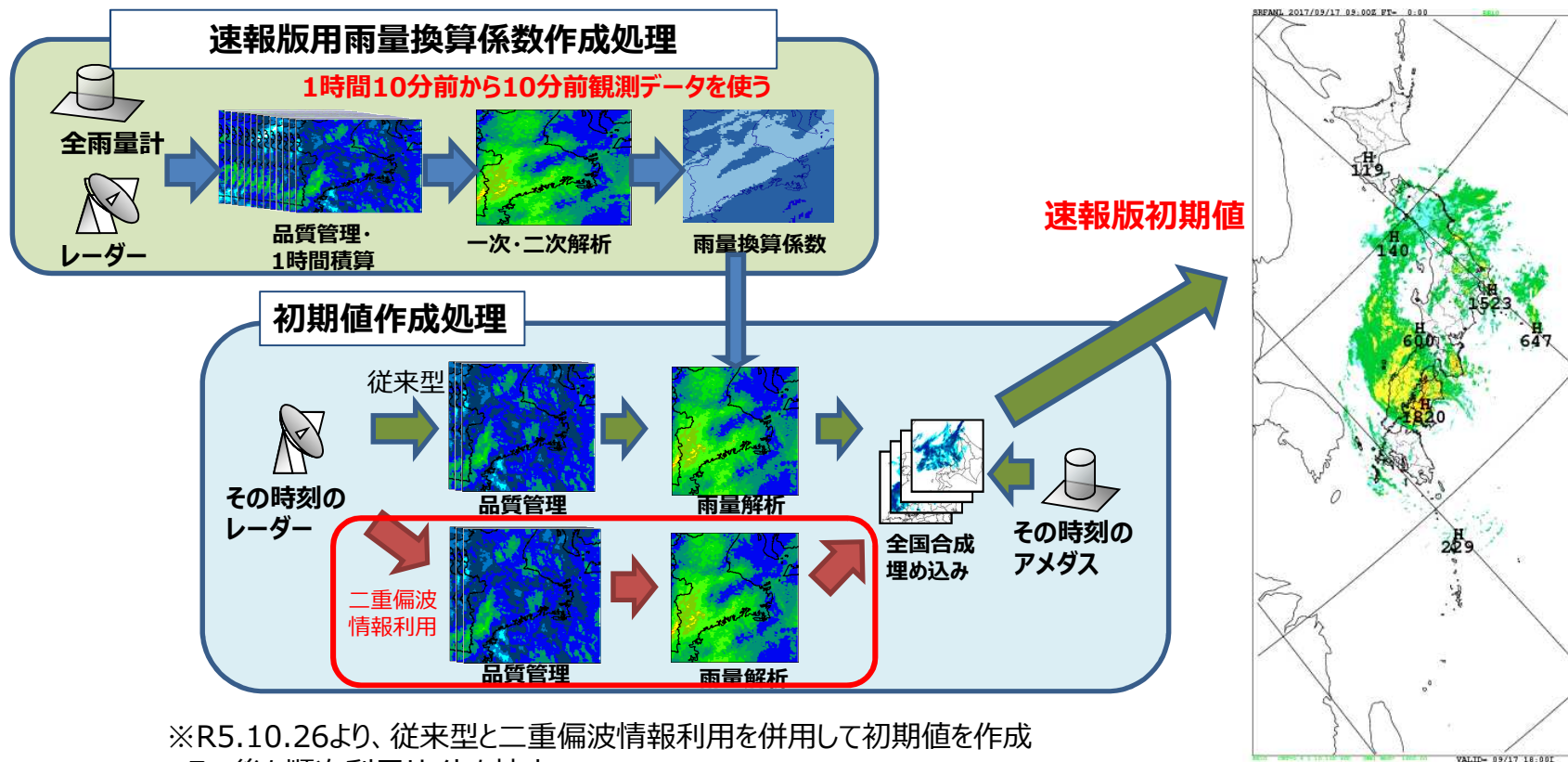
⇒ 量的予報というよりは、降水系全体の動きの把握に利用する

速報版降水短時間予報の概要

従前より高頻度かつ迅速な降水短時間予報 2018/3/5～

- 高頻度化
 - 30分毎の作成から10分毎の作成に。
- 迅速化
 - 現在の30分ごとの降短は初期時刻の約18分後に提供しているが、速報版では約10分早く、初期時刻の約8分後に提供。
- 基本的に従前の降水短時間予報と予測手法は大きく変わらないが、速報版解析雨量で作成した初期値を用いて予測を行うため、やや精度が落ちる。
- H30年3月から本運用開始。土壌雨量指数の計算に利用されている。
- 気象庁HPに1時間雨量予測を掲載：「今後の雨」 2018/6/20～

速報版降水短時間予報の初期値の作成手法



※R5.10.26より、従来型と二重偏波情報利用を併用して初期値を作成
その後も順次利用サイトを拡大

速報版降水短時間予報への二重偏波情報利用による効果

速報版降水短時間予報については、R5.10.26に二重偏波情報の利用を開始

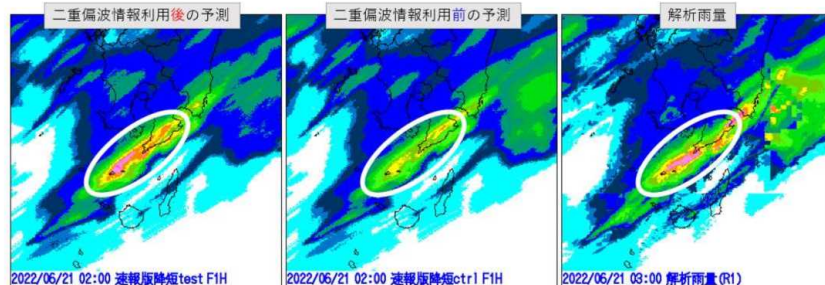


図 1. 2022 年 6 月 21 日 2 時 00 分 (日本時間) 初期値の 1 時間先の 1 時間雨量予測
左図: 二重偏波情報利用後の速報版降水短時間予報、中図: 利用前の速報版降水短時間予報、右図: 解析雨量 (3 時 00 分の実際の降水分布)

二重偏波情報利用後の予測 (1 時間先) では、より解析雨量に近い分布になっている。

配信資料に関する技術情報第 617号より

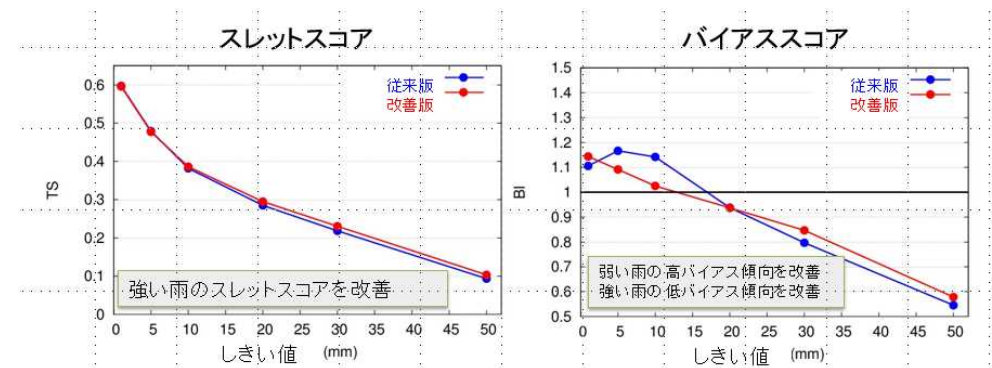


図 2. 1 時間先の 1 時間雨量予測の統計検証結果

対象期間は 2022 年 6~8 月、対象領域は 10 サイトの周辺 200km 以内の陸上。

左図: スレットスコア、右図: バイアススコア。グラフの横軸はしきい値、青線は二重偏波情報を利用する前の従来の速報版降水短時間予報のスコア、赤線は二重偏波情報利用後のスコア。

スレットスコア: 適中率を示す指標で 1 に近くなるほど予測精度が高い。

バイアススコア: 予測頻度を示す指標で 1 のとき予測頻度が実況頻度と一致、1 より小さいとき予測頻度が過小、1 より大きいとき予測頻度が過大。

二重偏波情報利用後も 1 時間先の予測結果の適中率はほとんど変わらないが、強雨では利用後の方がやや精度が改善されている。予測頻度を見ると弱雨の過大傾向が改善されているが、強雨の過少傾向がやや強まっている。**や強雨の過少傾向が改善されている。**

※2024.9.20修正

解析雨量・降水短時間予報・・・おわり

- ご清聴いただき、ありがとうございました。
- 続いて、キキクル（警報の危険度分布）の判定に用いる指数に関する話題です。

2024年8月5日 WXBCセミナー（データ解説編）

雨量から指数へ

土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数

大気海洋部 気象リスク対策課

橋口 祥治

1. イントロダクション

2. 指数

- ・ タンクモデル
- ・ 土壌雨量指数の概要と特徴
- ・ 表面雨量指数の概要と特徴
- ・ 流域雨量指数の概要と特徴

3. 基準と危険度

- ・ 警報等の基準の考え方
- ・ キキクル（危険度分布）

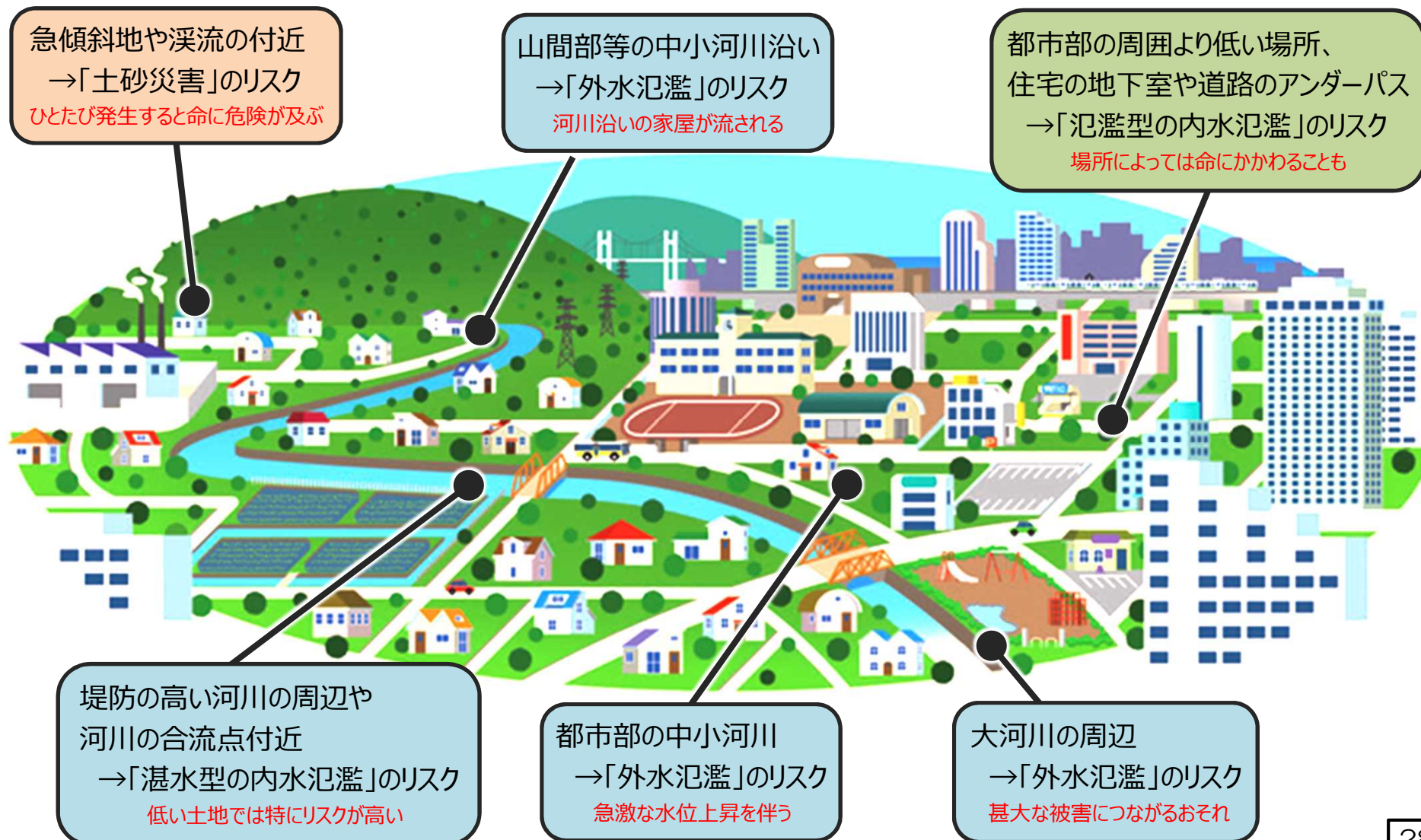
4. 指数・危険度の精度検証

- ・ 指数・危険度の予測精度
- ・ 危険度と災害発生との統計評価
- ・ 近年の大雨事例での検証

イントロダクション

大雨による災害リスクのある場所

大雨によって起こる災害の種類は、場所によって異なります。それぞれの場所に応じて必要な防災気象情報を活用することが重要です。



誘因と素因

- 必ずしも雨量が多い場所で災害が発生しているわけではない。

誘因：直接災害を引き起こす動的な発生要因

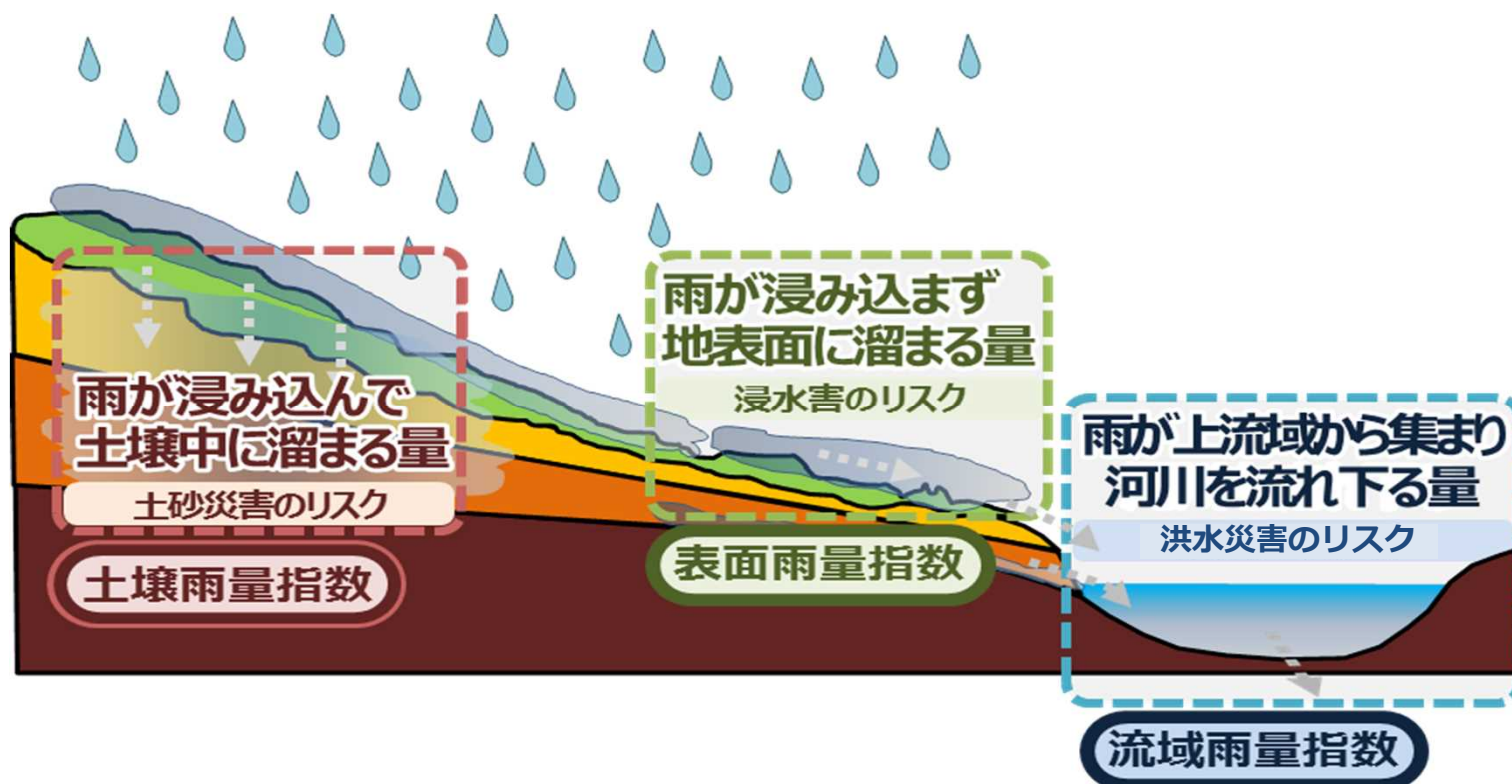
素因：災害の発生・拡大に関する潜在的な環境要因



災害リスクと3つの指数

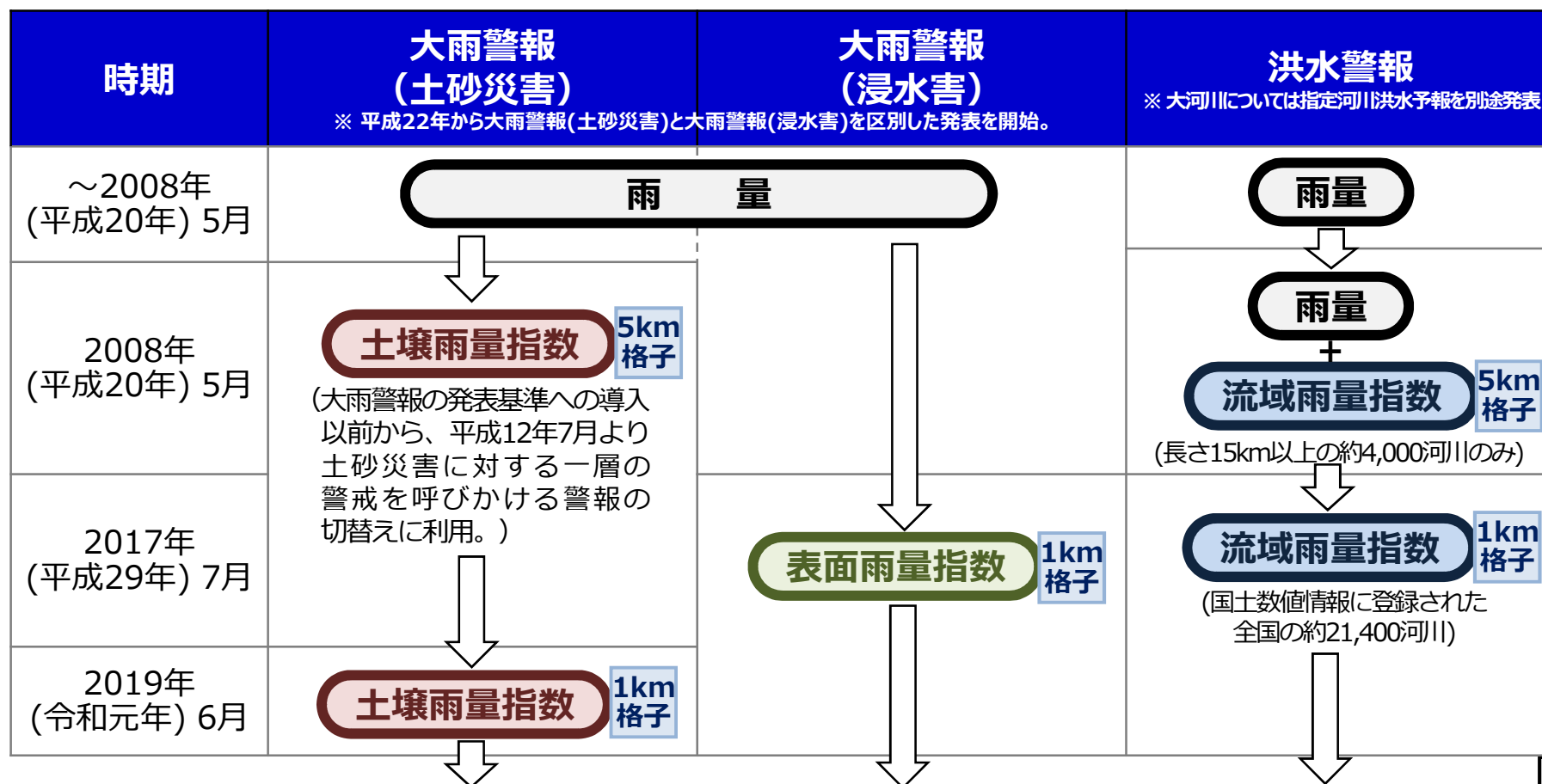
- 災害をもたらすような現象に対して、降った雨の量だけに着目するのではなく、降った雨が「素因」の影響を受けて、どのような振る舞いをするかに着目。

雨によって
災害リスクが高まるメカニズム

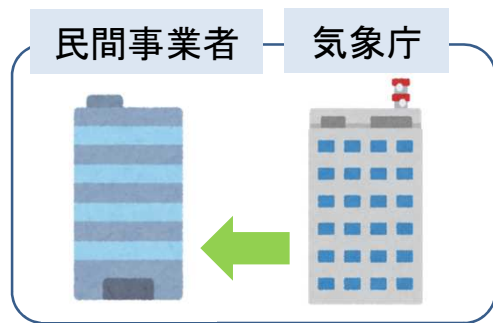
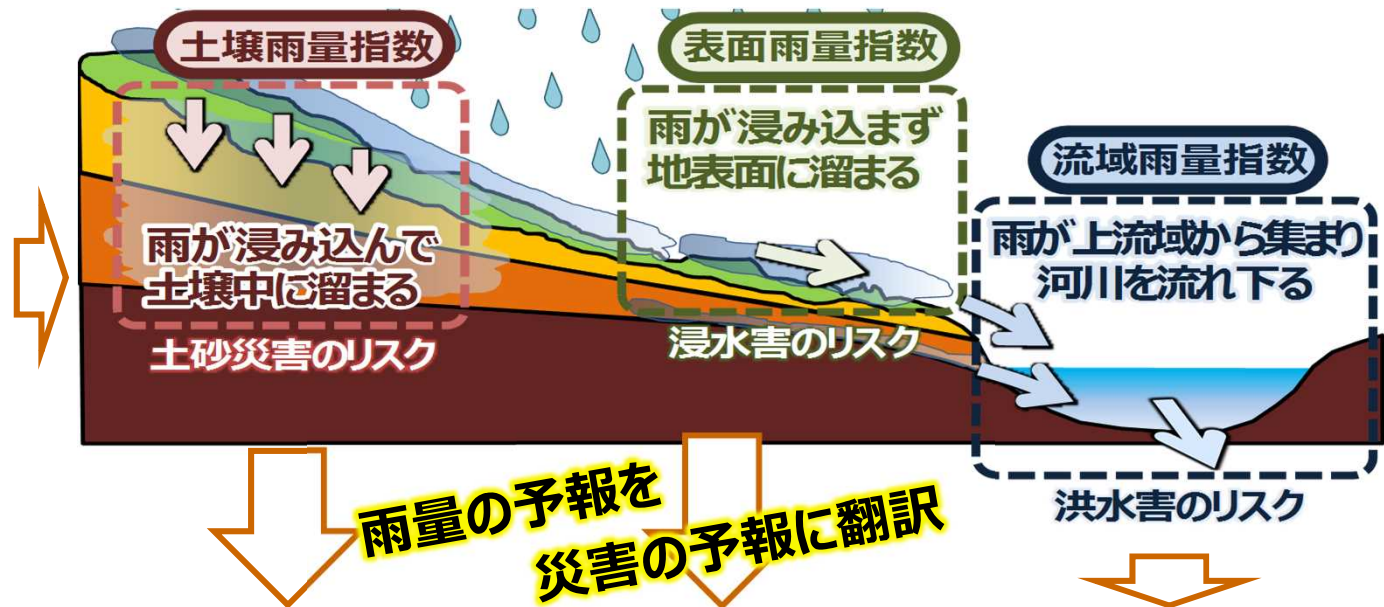
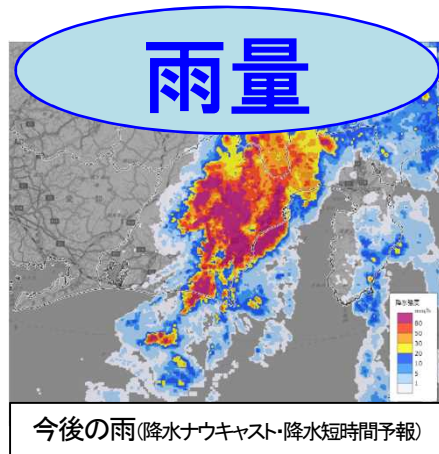


雨に関する警報の発表基準に用いる指標の変遷

- 当初、雨に関する警報は、「雨量」のみを用いて危険度の高まりを評価し、発表を判断。
- 平成20年から「雨量」に加え、土砂災害・洪水災害の危険度の高まりを評価する指標として「土壌雨量指数」及び「流域雨量指数」も発表基準に導入。平成22年からは大雨警報(土砂災害)と大雨警報(浸水害)を区別した発表を開始。
- 平成29年7月からは「表面雨量指数」の導入と「流域雨量指数」の精緻化により、土砂災害・浸水害・洪水災害の危険度の高まりを3つの「指数」で評価し、警報発表を判断。



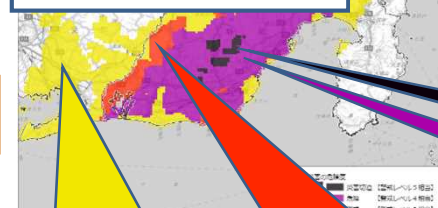
雨量の予報から災害危険度の予報へ



土砂災害

土砂キキクル
(大雨警報(土砂災害)の危険度分布)

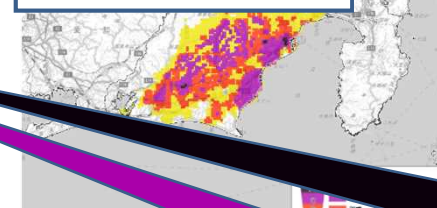
2時間先までの予測



浸水害

浸水キキクル
(大雨警報(浸水害)の危険度分布)

1時間先までの予測



洪水

洪水キキクル
(洪水警報の危険度分布)

3時間先までの予測



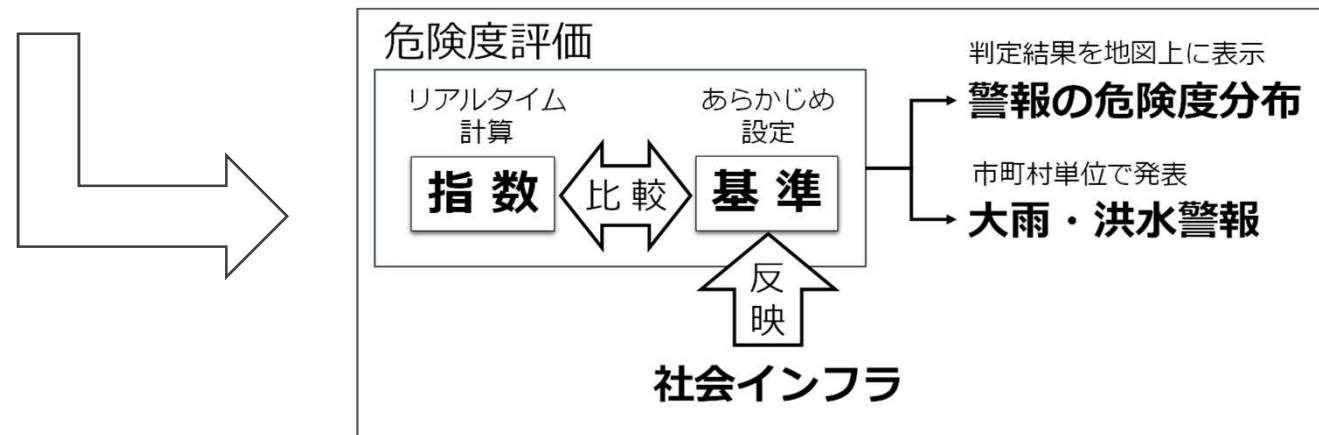
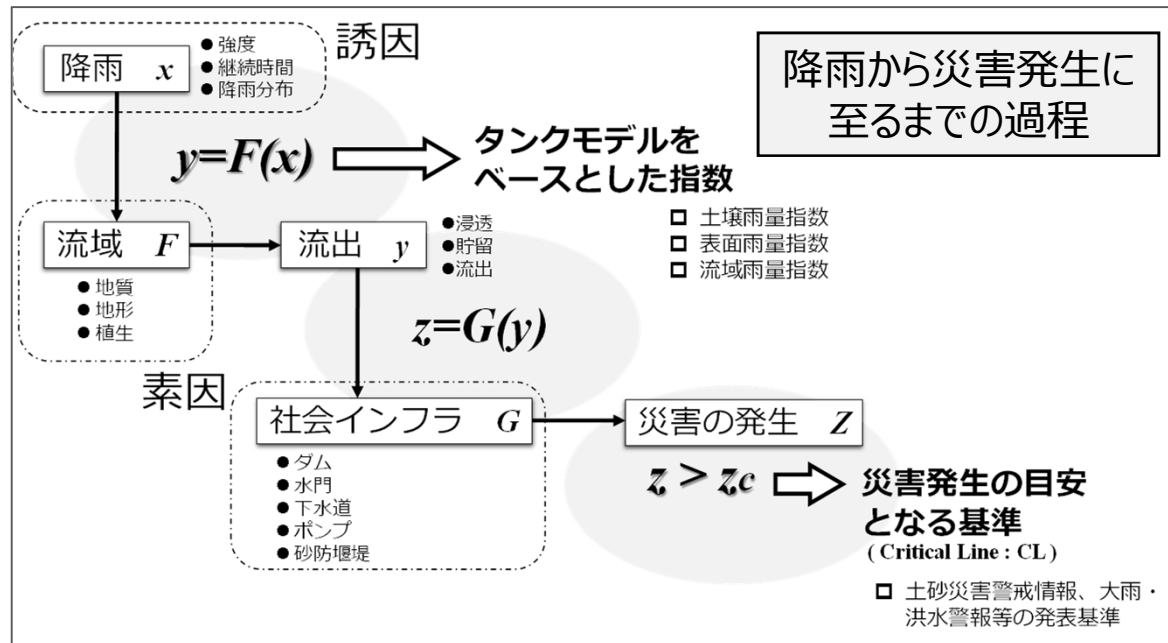
注意 (警戒レベル2相当)
・避難行動の確認が必要
・注意報に対応する危険度の高まり

警戒 (警戒レベル3相当)
・自治体が高齢者等避難を発令する目安
・警戒に対応する危険度の高まり

危険 (警戒レベル4相当)
・自治体避難指示を発令する目安
・土砂災害警戒情報に対応する危険度の高まり

災害切迫 (警戒レベル5相当)
・自治体が緊急安全確保を発令する目安
・特別警戒に対応する危険度の高まり

危険度評価の考え方

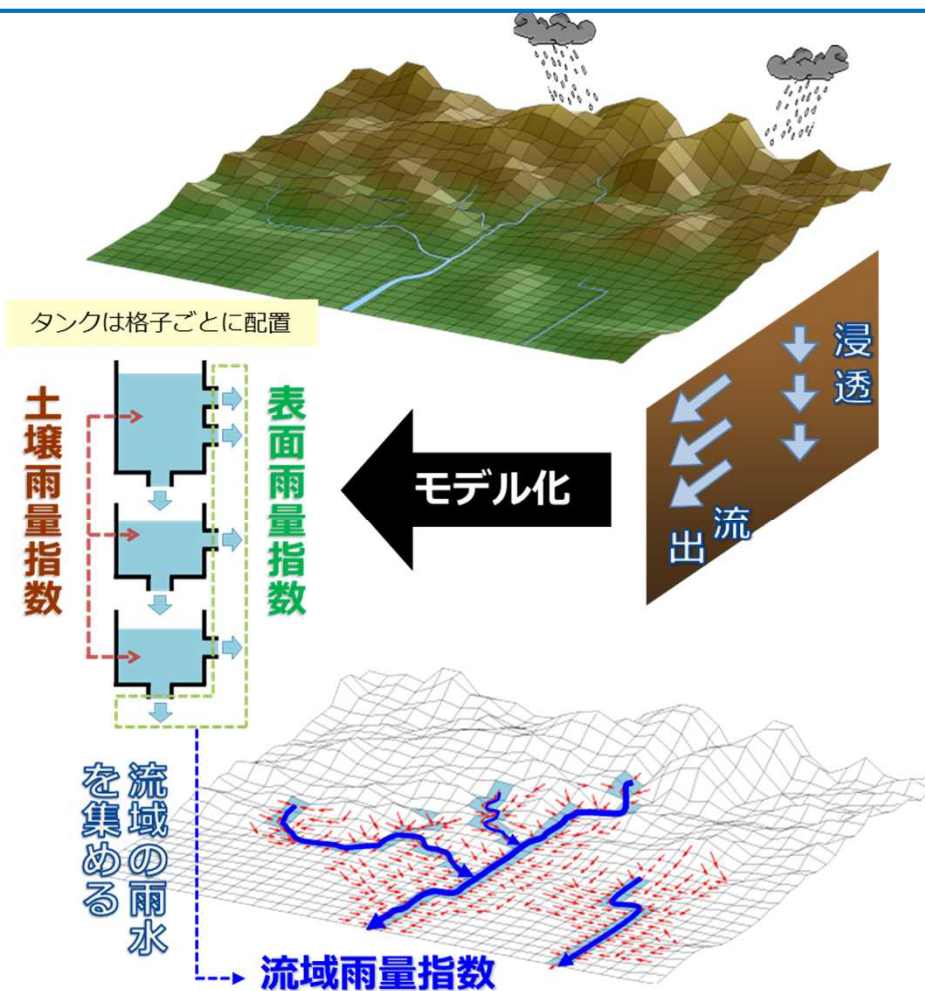
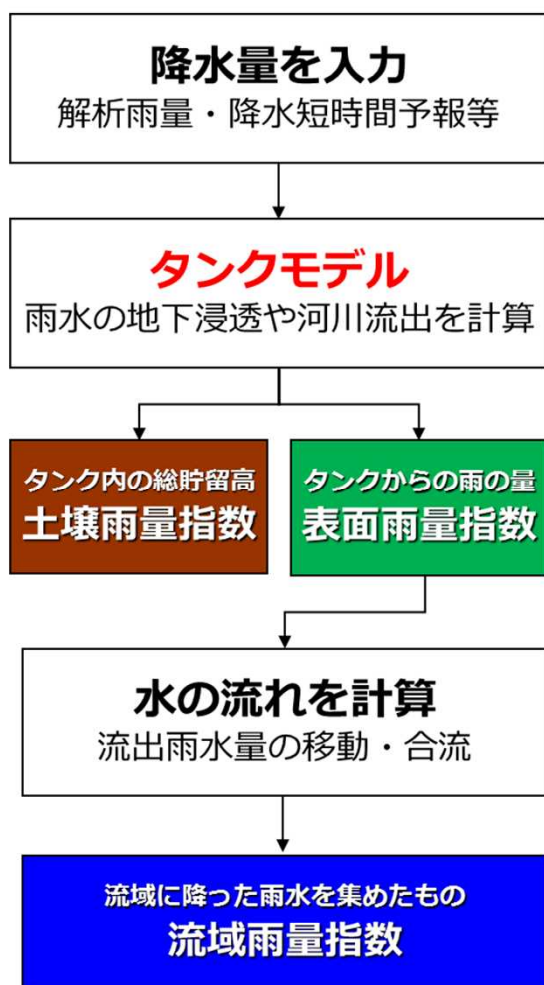


基準設定に用いる災害データ（被害数）は社会インフラの影響を受けた結果であるため、過去の災害実績をもとに基準値を設定することで、社会インフラの影響も基準値に一定程度反映させることができる

タンクモデル

タンクモデルについて

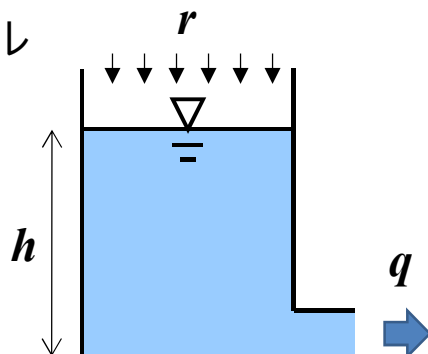
- 降雨の地下浸透や河川への流出といったプロセスを「**タンクモデル**」で模式化し、各々の災害リスクの高まりを指数化
- 地質に応じてパラメータ変更したり、都市域・非都市域で異なるタンクモデルを用いたりすることで素因を考慮している



タンクモデルの原理

流域を幾段か（3段や4段の例が多い）のタンクにおきかえ、タンクに1～2個の横穴と1個の底穴を設けて、「横穴からの流出→河川流出」「底穴からの流出→より深層への浸透」になぞらえたモデル

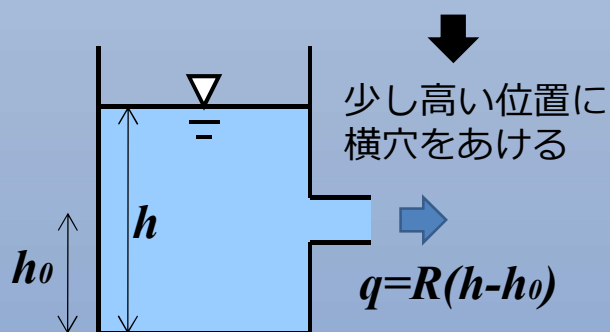
タンクモデル
基本形



タンク流出 $q = Rh$
連続の式 $r - q = dh/dt$

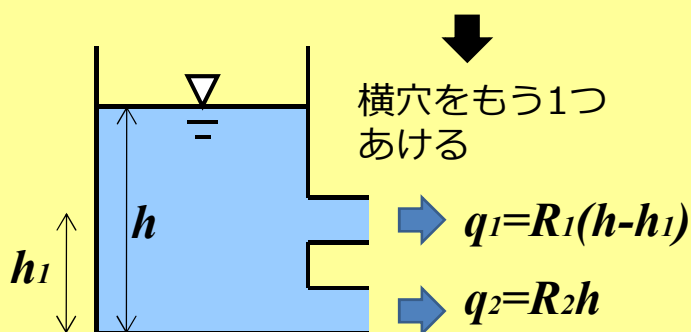
R : 穴の比例定数
 h : タンク水位
 r : 降雨

はじめに降った雨は目に見えた流出にならないことが多い



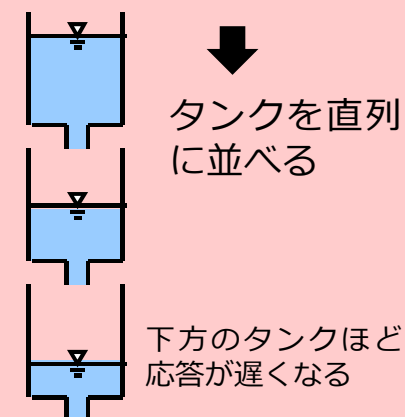
初期損失タンクモデル

流出はある程度の雨が降った後急速に大きくなることが知られている



流出の非線型効果の再現

流出の遅れの効果

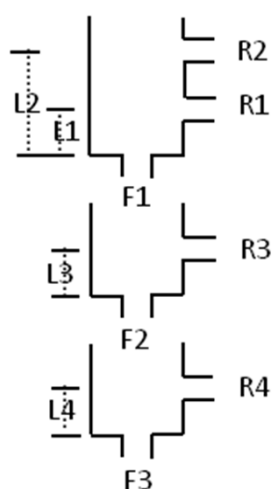


直列タンクモデル

直列3段タンクモデル

Ishihara and Kobatake (1979)をベースとし、各指数の算出で使用

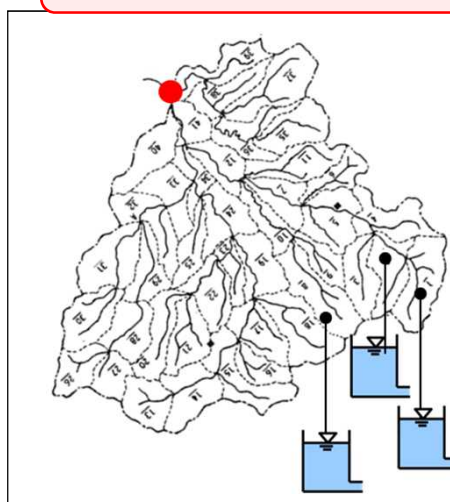
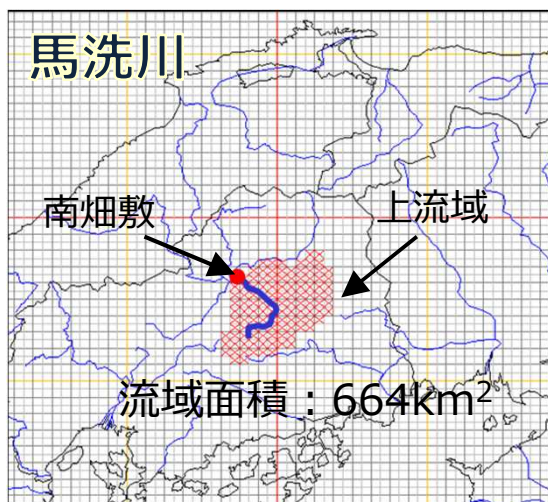
直列三段タンクモデルと石原・小葉竹の5種類のパラメータ



No.	河川名 (地域)	地質 (特性)	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	F1 (hr ⁻¹)	F2 (hr ⁻¹)	F3 (hr ⁻¹)	R1 (hr ⁻¹)	R2 (hr ⁻¹)	R3 (hr ⁻¹)	R4 (hr ⁻¹)
1	筑後川 (小平)	安山岩・凝灰岩 (透水性大)	40	75	15	15	0.12	0.08	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
2	馬洗川 (南畑敷)	花崗岩	30	60	15	15	0.12	0.08	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
3	木津川 (月ヶ瀬)		15	60	15	15	0.12	0.05	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
4	長良川 (美濃)		30	75	5	15	0.12	0.04	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01
5	夕張川 (清幌橋)	第三紀層 (透水性小)	15	40	5	15	0.12	0.04	0.01	0.10	0.15	0.05	0.01

地質による透水性の差を考慮

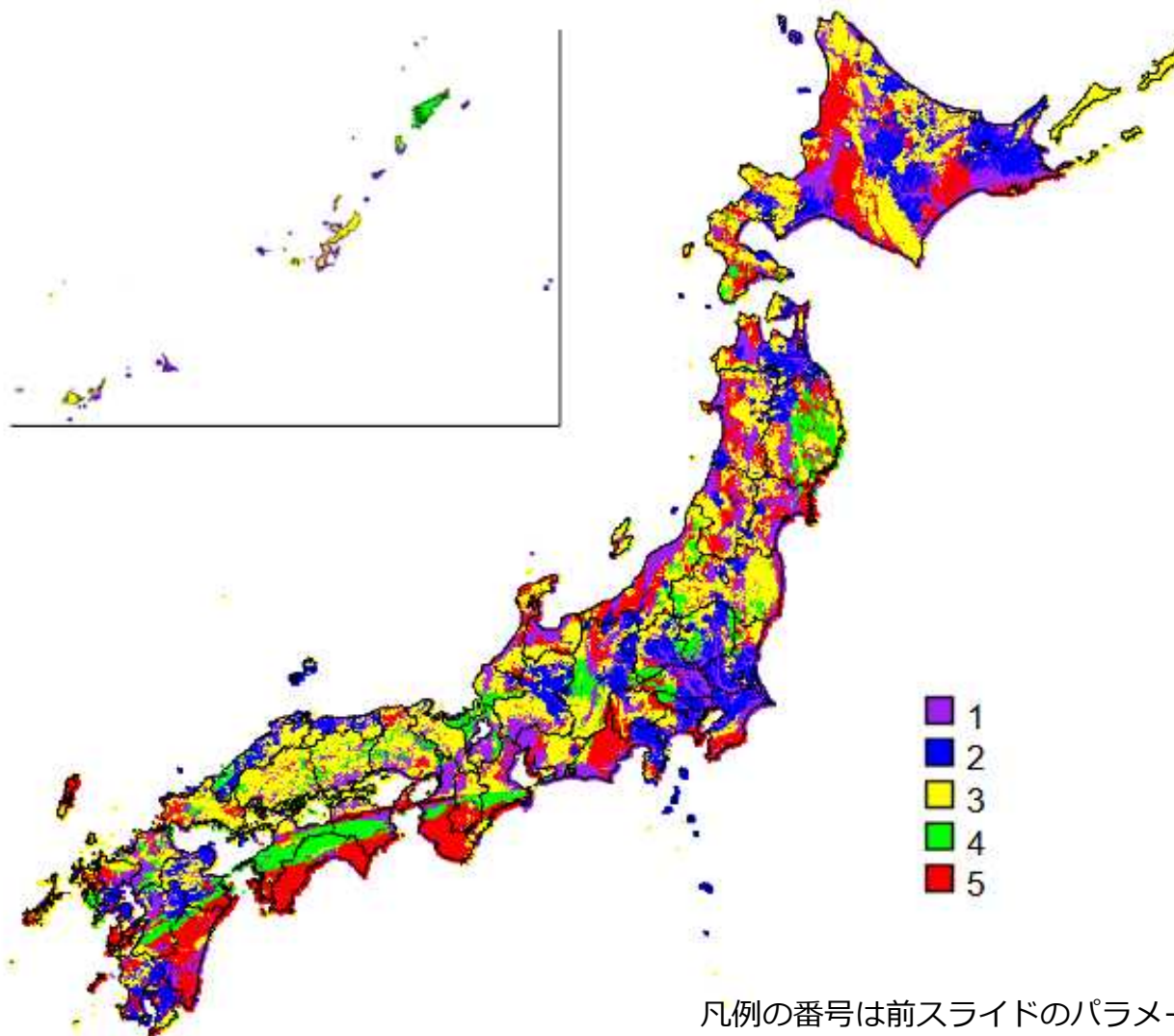
※土壌雨量指数は全国統一でNo.3を利用



- ◆ 水位観測地点の上流域をさらに小流域（約16km²）に分割
- ◆ 小流域ごとにタンクを設置し、最下流にあたる観測点の水位を再現するようなパラメータを設定

直列3段タンクモデルのパラメータ分布

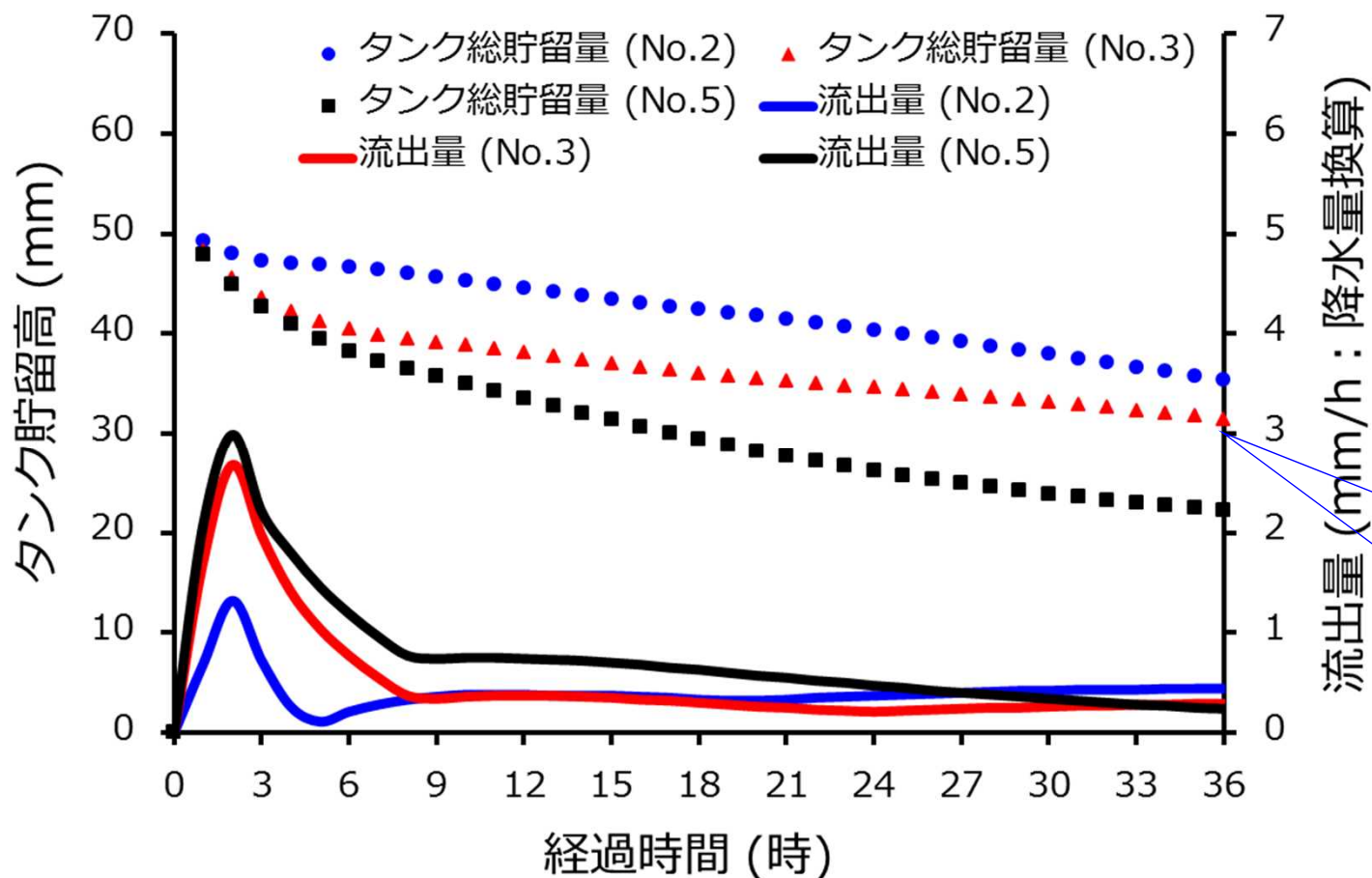
No.1～5のパラメータを使い分けることで、地質の素因を考慮した指数に
(表面雨量指数・流域雨量指数で利用)



凡例の番号は前スライドのパラメータ番号に対応

直列3段タンクモデルの特性 ~パラメータによる違い~

1時間に50mmの雨を与えた場合のタンク総貯留量と流出量



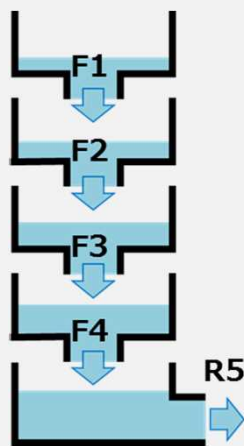
➡ 浸透・貯留・流出は、流域ごとにその振る舞いが異なる

直列5段タンクモデル

表面雨量指数・流域雨量指数において、主に都市域で用いるタンクモデル

都市域用の5段タンクモデル

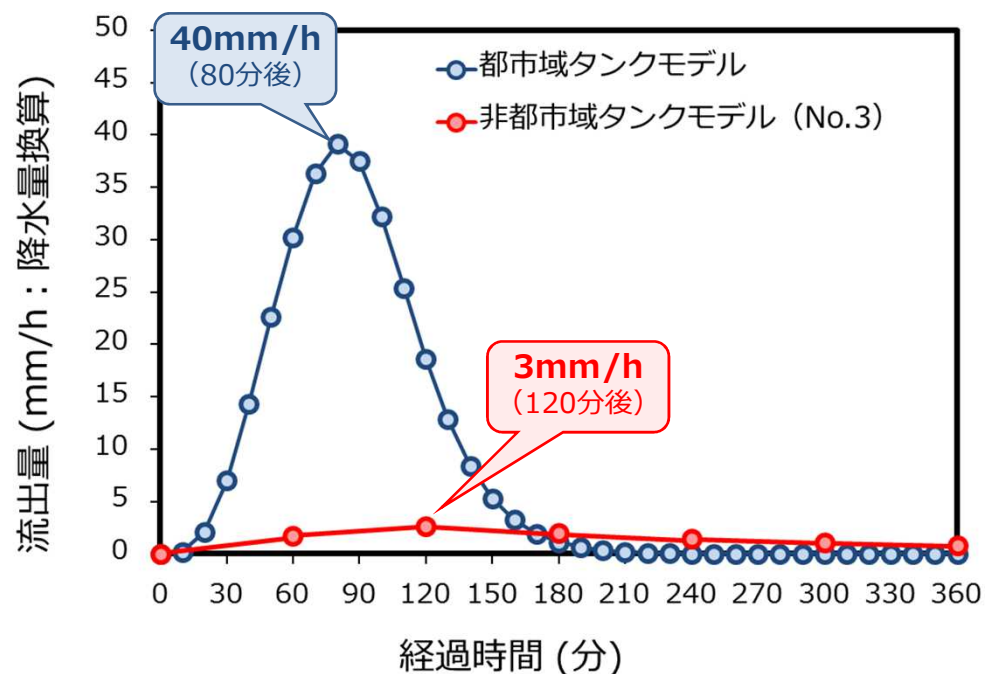
- ・ タイムステップは1分
- ・ 対象領域は1km四方
- ・ 各係数F1～F4及びR5は同じ値
- ・ 係数は傾斜に応じて異なる



※ 5段タンクモデルは、降った雨が地表面を流れ下るのに要する時間（降雨ピークに対して20～30分程度の時間遅れ）を表現できるように、タンクを直列に5つ並べたものである。

※5段タンクモデルだからといって、直列3段タンクモデルよりもさらに深層への浸透を表しているというものではない。

1時間に50mmの雨を与えた場合の流出量

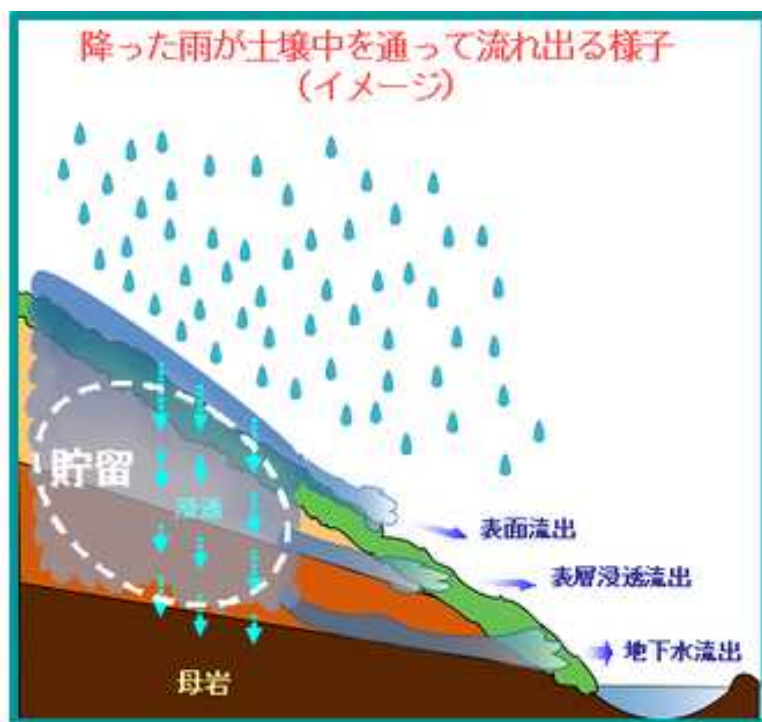


都市域で用いる5段タンクモデルは、非都市域の3段タンクモデルより流出が速く、ピークは10倍以上も大きい

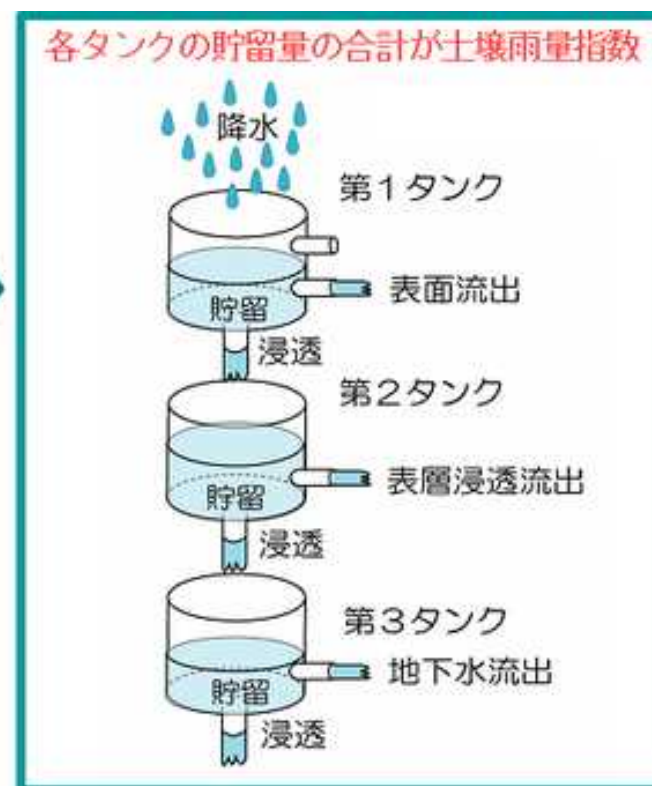
土壌雨量指数の概要と特徴

土壌雨量指数の概要

- 降った雨が土壌中に水分量としてどれだけ溜まっているかを、タンクモデルを用いて数値化したもの。
- 第1タンクの側面の流出孔からの流出量は表面流出に、第2タンクからのものは表層での浸透流出に、第3タンクからのものは地下水としての流出に対応する。
- 土壌雨量指数は、各タンクに残っている水分量（貯留量）の合計として算出され、これは、土壌中の水分量に相当する。
- 地盤の崩れやすさなどは、考慮していない。⇒警報等の基準値に反映



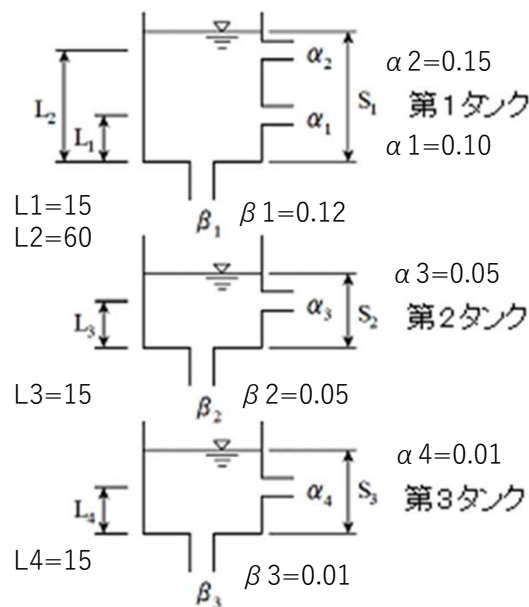
モデル化



土壌雨量指数の計算方法

土壌雨量指数

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$



タンクパラメータは全国統一
(Ishihara & Kobatake(1979) の No.3)

※地質の違いといった素因の影響は、過去の災害との比較により基準値を設定する際に、結果的に基準値に反映される。

○ スペック

格子の間隔	0.0083度(緯度)×0.0125度(経度) ※約1km四方格子の大きさ
入力雨量・予報時間等	● 実況解析（解析雨量を入力） ● 6時間後までの1時間毎の予想（降水短時間予報を入力）
作成頻度	10分毎

第一タンクの貯留高

$$S_1(t + \Delta t) = R + S_1(t) - q_1(t) \cdot \Delta t - \beta_1 \cdot \Delta t \cdot S_1(t)$$

雨量 前時刻の 側面孔からの 下孔からの
第一タンク値 流出量 流出量

側面孔からの流出量

$$q_1(t) = \alpha_1 \{S_1(t) - L_1\} + \alpha_2 \{S_1(t) - L_2\}$$

※流出量はマイナスなら0

第二タンクの貯留高

$$S_2(t + \Delta t) = S_2(t) + \beta_1 \cdot \Delta t \cdot S_1(t) - q_2(t) \cdot \Delta t - \beta_2 \cdot \Delta t \cdot S_2(t)$$

前時刻の 第一タンクからの 側面孔からの 下孔からの
第二タンク値 浸透量 流出量 流出量

側面孔からの流出量

$$q_2(t) = \alpha_3 \{S_2(t) - L_3\}$$

※流出量はマイナスなら0

第三タンクの貯留高

$$S_3(t + \Delta t) = S_3(t) + \beta_2 \cdot \Delta t \cdot S_2(t) - q_3(t) \cdot \Delta t - \beta_3 \cdot \Delta t \cdot S_3(t)$$

前時刻の 第二タンクからの 側面孔からの 下孔からの
第三タンク値 浸透量 流出量 流出量

側面孔からの流出量

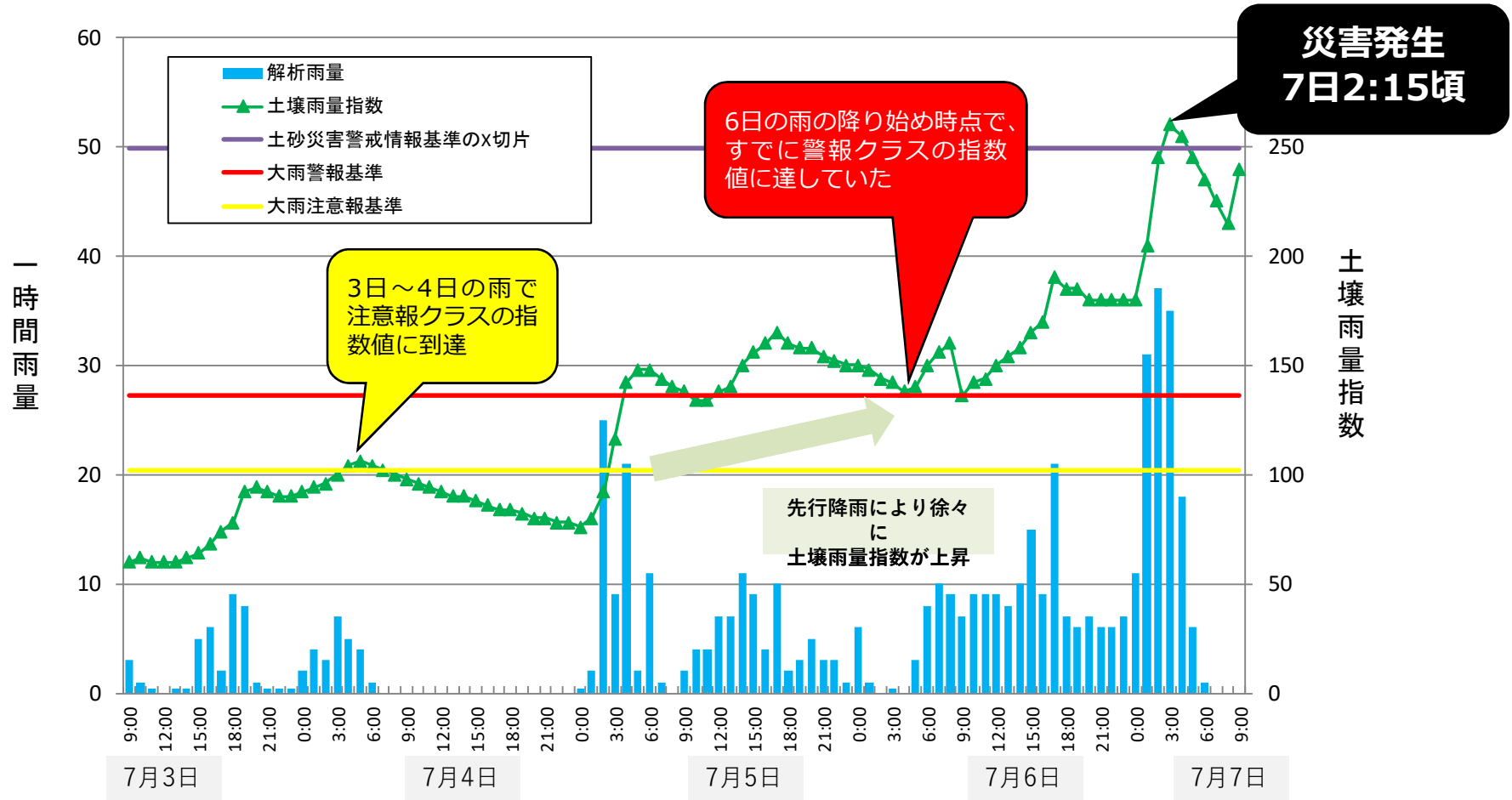
$$q_3(t) = \alpha_4 \{S_3(t) - L_4\}$$

※流出量はマイナスなら0

R: 1時間雨量を1/6したもの
 $\Delta t = 10$ 分(1/6時間)

土壌雨量指数の特徴

- ・タンクモデルを用いて計算することにより、既に降った雨（先行降雨）の土砂災害発生への影響を適切に反映することができる。

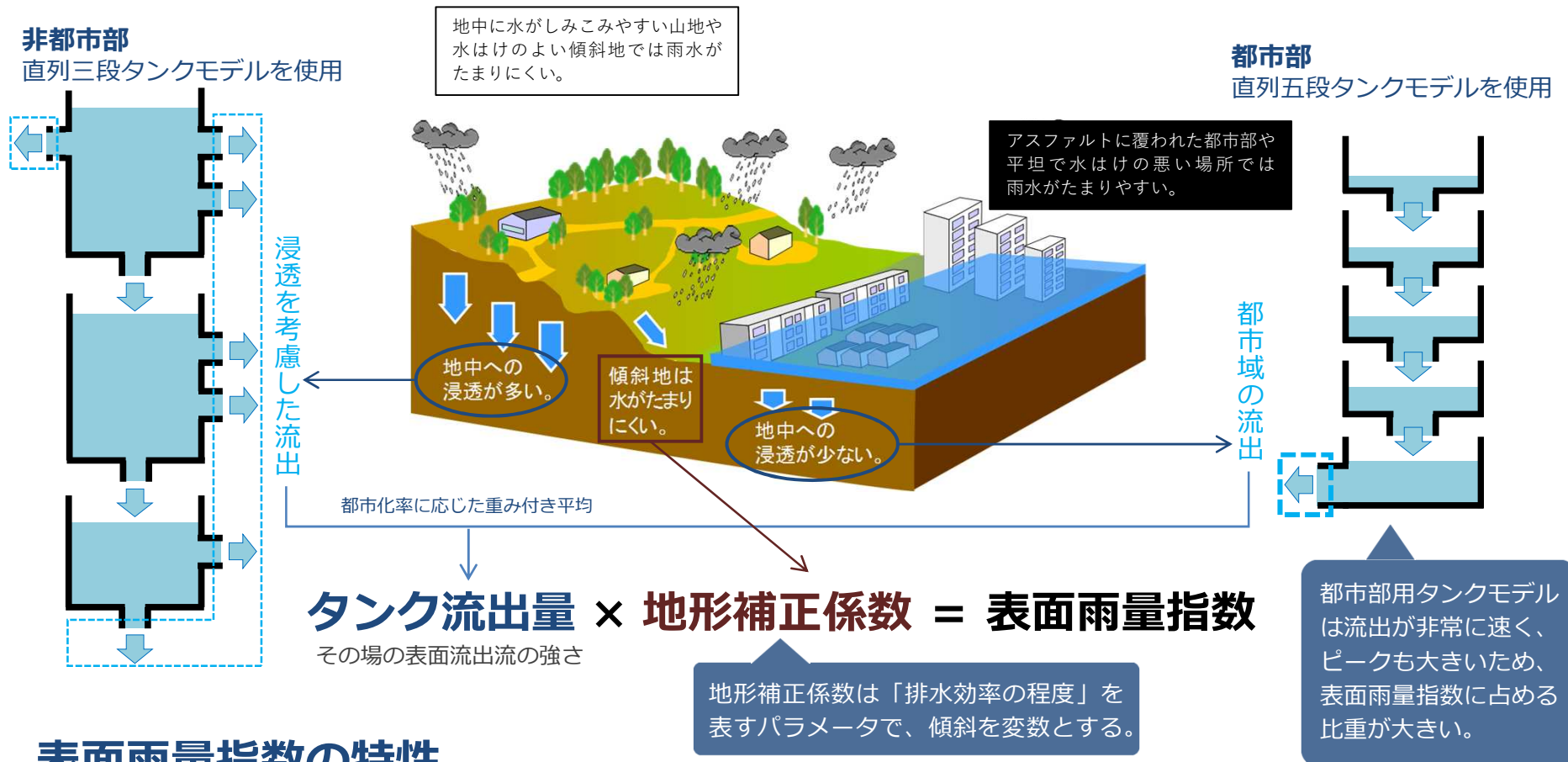


平成30年7月豪雨における山口県岩国市周東町の解析雨量と土壌雨量指数

表面雨量指数の概要と特徴

表面雨量指数の概要

- 定義は「タンクモデルで算出した1時間流出量に地形補正係数を乗じたもの」。
- 1時間流出量は流域面積で割って「流出高」として算出（単位は[mm/h]）。
- 降った雨の地表面でのたまりやすさを、表面流出流の強弱により表現することをイメージ。



表面雨量指数の特性

- 平坦な場所や都市域で大きな値を示す傾向がある。
- 短時間に降る局地的な大雨による浸水害発生との相関が高い。

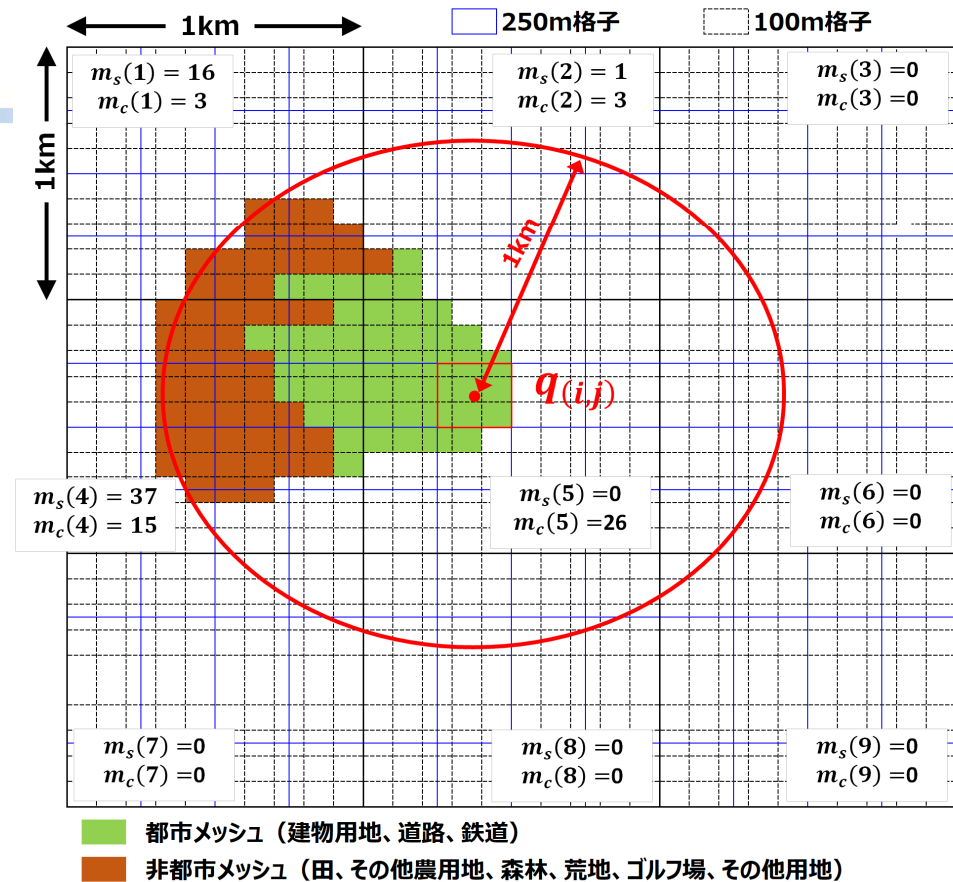
表面雨量指数の算出

算出手順

1km格子ごとに「非都市域用タンク」と「都市域用タンク」をそれぞれ計算

250m格子地点の**上流域（半径1km以内の集水域）**を対象領域として、**上流メッシュ情報（100mメッシュ土地利用データから求めた、1km格子ごとの都市メッシュ数 m_c ・非都市メッシュ数 m_s ）**により**流出量を按分**

流出量(m^3/s)は流域面積(メッシュ数: m^2)で割って「流出高(mm/h)」としてあらわす



都市メッシュについては都市タンク流出量と非都市タンク流出量を7:3の割合で按分する
（「都市タンク7割」というのは現在の流域雨量指数の総流出率の考え方と同様）

$$q(i,j) = \frac{\sum_{n=1}^9 \left[Q_s(n) \cdot \frac{m_s(n)}{100} + \left(Q_c(n) \cdot \frac{m_c(n)}{100} \cdot 0.7 + Q_s(n) \cdot \frac{m_c(n)}{100} \cdot 0.3 \right) \right]}{\sum_{n=1}^9 (m_s(n) + m_c(n)) \cdot 100^2} \times 3600 \times 1000$$

流出高

非都市メッシュ流出量

都市メッシュ流出量

単位変換 (m→mm)

1時間あたり

流域面積 (m^2)

自格子も含め9つの隣接する1km格子に対し積算

$Q_s(n)$: 非都市域タンク流出量(1km格子) (m^3/s)

$Q_c(n)$: 都市域タンク流出量(1km格子) (m^3/s)

$m_s(n)$: 非都市メッシュ数

$m_c(n)$: 都市メッシュ数

n : 該当250m格子に対する周辺1km格子の番号 (1~9)

流出量の算出には、上流降雨（隣接メッシュの雨量）が考慮されている

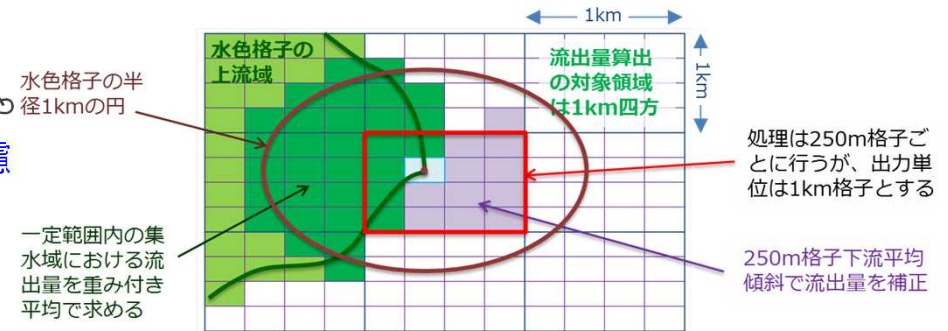
計算処理の特徴

250m格子ごとに計算

- 国土数値情報に基づく局地的な地形の凹凸（傾斜）や地表面の被覆状況（都市化率）を反映。→ 素因を考慮
- ただし最終出力は1km格子（250m格子の最大値）。

集水域を考慮

- 流出量算出において半径1km以内に含まれる上流域（集水域）の降雨を考慮。
- 対象領域を格子単位ではなく、一定範囲内の集水域（100m格子で定義）とする（上図の緑格子）。



下流平均傾斜

- 排水効率を的確にあらわすパラメータとなるよう、地形補正係数の変数には、対象地点よりも下流側の格子のみ（標高が自格子以下のみ）を対象とした「下流平均傾斜」を用いる。

下水道や排水ポンプの整備状況等は考慮していない

- 浸水害の発生には、大雨の程度に加え、下水道や排水ポンプの整備状況が大きく影響するが、表面雨量指数ではそれらを考慮していない。←過去の災害との比較により基準値を設定する際、結果的に基準値に反映

○ スペック

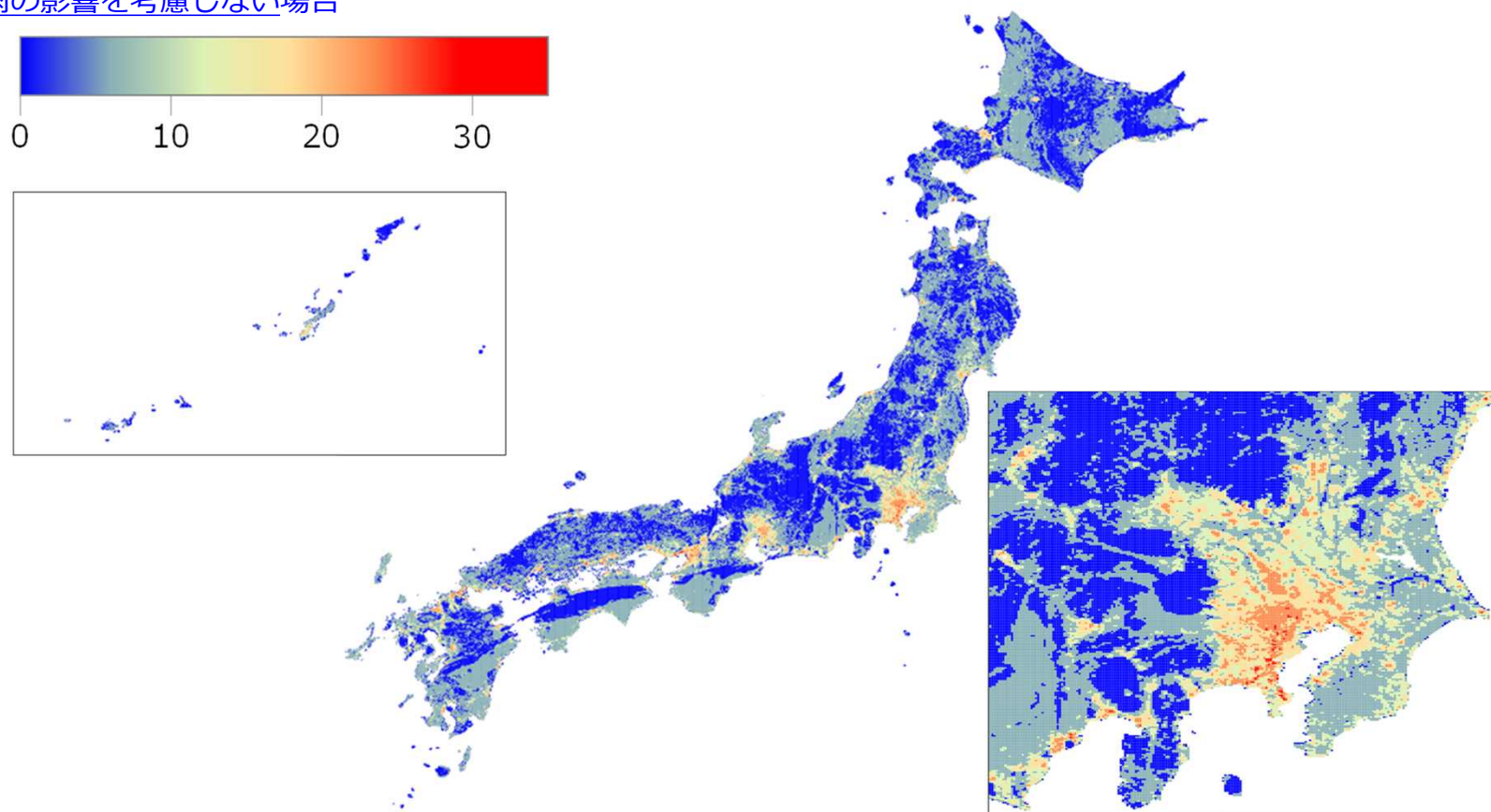
格子の間隔	0.0083度(緯度)×0.0125度(経度) ※約1km四方格子の大きさ
入力雨量・予報時間等	● 実況解析（解析雨量を入力） ● 1時間後までの10分毎の予想（降水ナウキャストを入力） ● 6時間後までの1時間毎の予想（降水短時間予報を入力）
作成頻度	実況の解析時刻、降水ナウキャストによる予想は10分毎 降水短時間予報による予想は30分毎

表面雨量指数の特徴 ～一様降雨を仮定した場合～

80mm/hの一様降雨による指数分布

先行降雨の影響を考慮しない場合

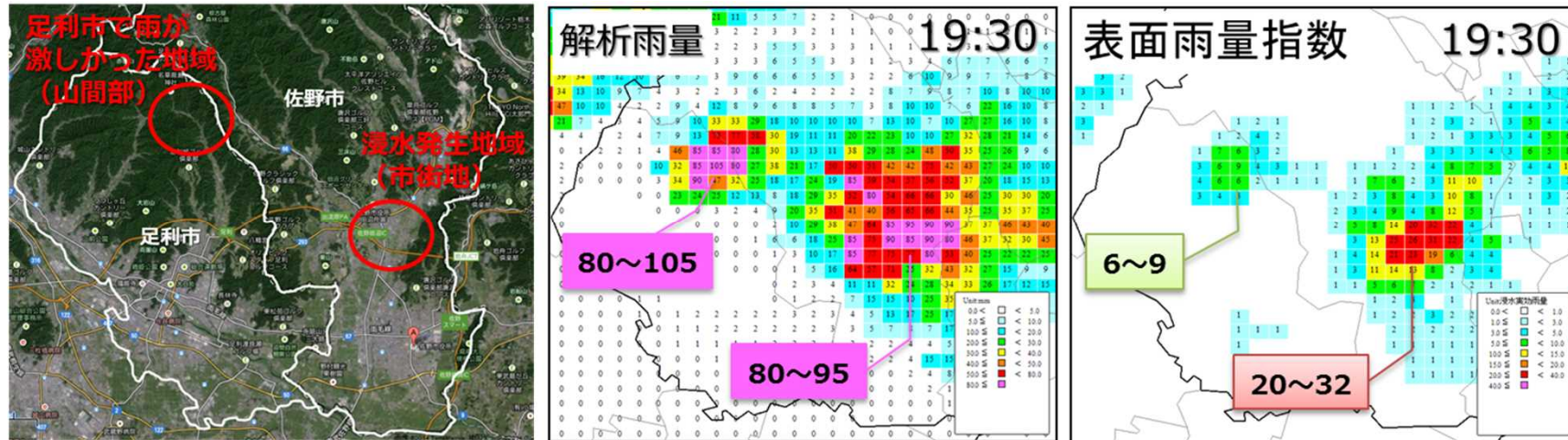
※実際には先行降雨の影響を無視することはできないので
ここでのシミュレーションはあくまで理想実験に過ぎない。



- 同じ雨量を一様に与えた場合でも、平坦な都市部では指数が大きく、山地や都市化が進んでいない地域では指数が小さい。
 - 非都市域でも地質による差が見られる。
- **自然的素因（傾斜・地質）・社会的素因（土地利用）を反映**

表面雨量指数の特徴 ～浸水地域の絞り込み～

- 2014年6月23日栃木県足利市・佐野市で時間100ミリ前後の大雨
- 佐野市では床上2件、床下3件等の浸水被害が発生（足利市は被害報告なし）

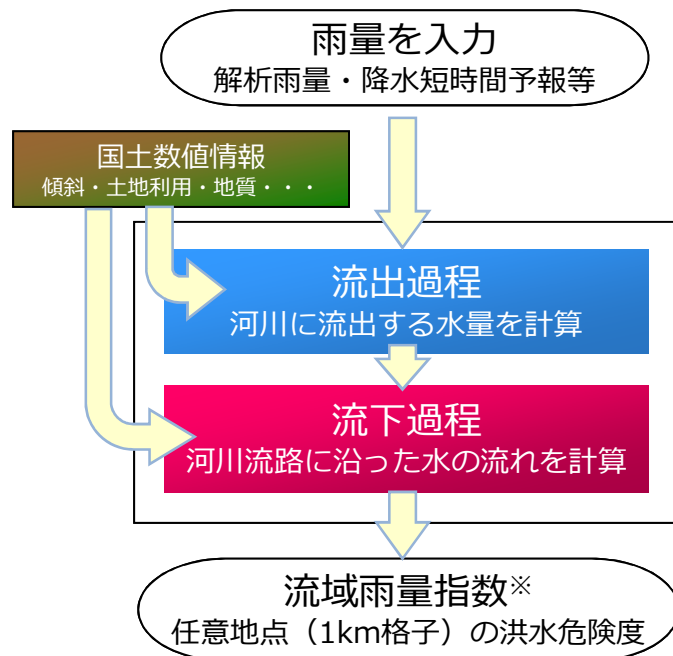


- 同じ100ミリ前後の猛烈な雨が降っても、山間部で降った足利市では浸水害の報告はなく、市街地で降った佐野市では浸水害が発生した。
- 表面雨量指数は、都市化率や傾斜といった浸水に関連の深い「素因」を地理パラメータとして取り込んでいるため、山間部（足利市）で大きな値にならず、市街地（佐野市）で大きな値が算出される。
- 表面雨量指数を大雨警報（浸水害）の発表基準に用いることで、足利市で不要な警報を発表する必要がなくなる。

流域雨量指数の概要と特徴

流域雨量指数の概要

- 主に国土数値情報に登録されている河川（全国で約22,000河川）が対象。
- 河川の上流域に降った雨水が、地表面や地中を通して河川に流れ出し、河川に沿って流れ下る量を数値化したもの。



※ 上記計算から河川の流量に相当する値が算出されるが、その平方根を流域雨量指数としている。

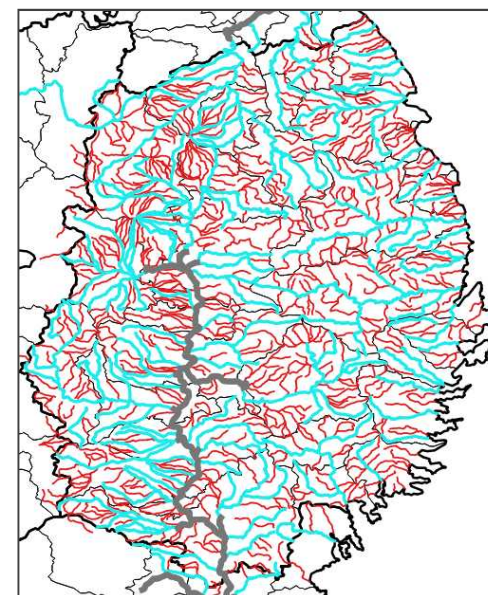
流域雨量指数の特性

- 河川水位との相関が高く、洪水災害との対応がいい

流域雨量指数の計算スペック

対象河川	国土数値情報に登録されている、全国約22,000河川 (ただし、指定河川は危険度分布の表示対象外)
流出計算	都市域：5段タンクモデル (1kmメッシュ、タイムステップ1分) 非都市域：3段タンクモデル (1kmメッシュ、タイムステップ10分) - 計算格子数は約38万格子
河道計算	1次元不定流モデル (マンニングの平均流速公式+連続の式) - 河川流路に沿って、1kmメッシュをさらに6分割した区間毎に計算 (平均的には約170m間隔に相当、計算領域は約260万領域、タイムステップ1分)
予報時間 (入力雨量)	- 実況解析 (解析雨量を入力) 1時間後までの10分毎の予想 (降水ナウキャストを入力) 6時間後までの1時間毎の予想 (降水短時間予報を入力)
計算頻度	- 実況の解析時刻、降水ナウキャストによる予想は10分毎 - 降水短時間予報による予想は30分毎

岩手県の計算対象河川 (855河川)



水色：H29年6月までの対象河川
(長さ15km以上)

赤色：H29年7月以降の対象河川
(全ての河川)

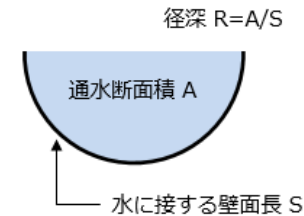
灰色：洪水予報河川の予報区間
(洪水警報の対象外)

流下過程の計算式と処理概念図

■ 運動方程式（マニング式）

$$v = (1/n)R^{2/3}I^{1/2}$$

v : 流速 (m/s) 、 R : 径深 (m) 、
 I : 傾斜、 n : マニングの粗度係数



■ 連続方程式（水量保存の式）

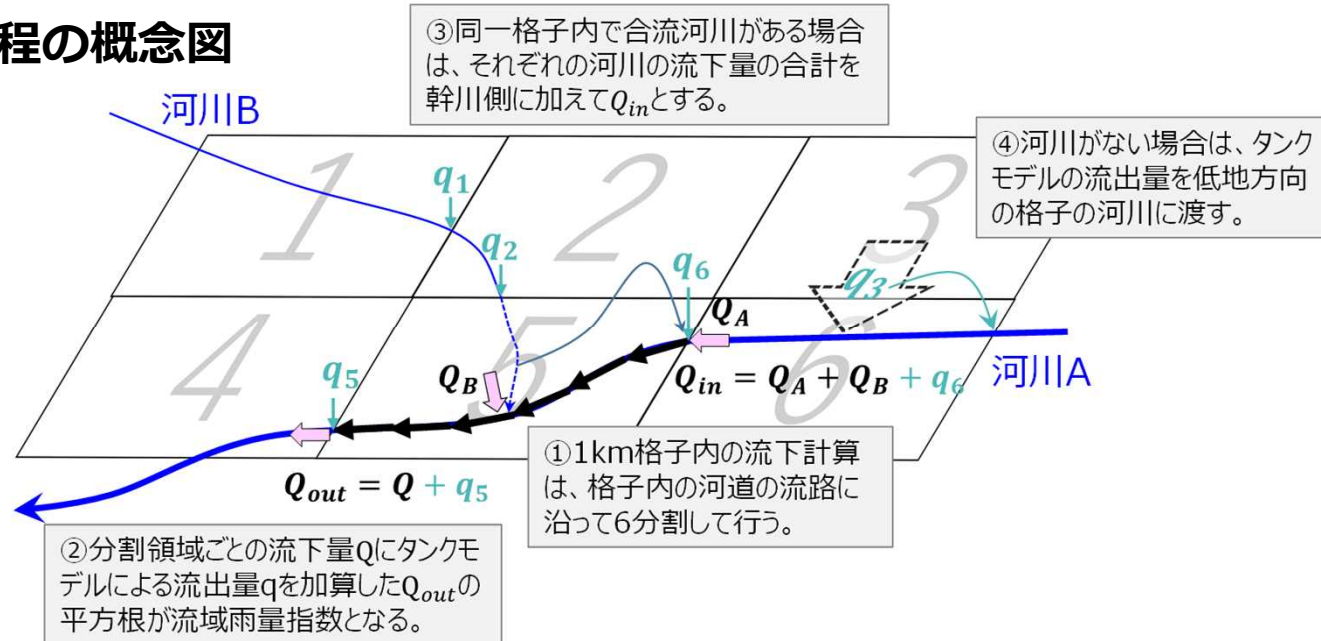
$$\frac{d \int_{\text{流路}} A dx}{dt} = \int_{\text{流域}} (r - i) dS + Q_{\text{上流端}} - Q_{\text{下流端}} = \int_{\text{流域}} e(r) dS + Q_{\text{上流端}} - Q_{\text{下流端}}$$

A : 流水断面積 (m²) 、 流量 Q (m³/s) $=vA$

r : 降水強度、 i : 浸透量

$e(r)$: タンクモデルによる流出量

■ 流下過程の概念図



Q_A 及び Q_B はそれぞれ河川A及びBの流下量、 Q_{in} は河川が1km格子と交わる地点（格子内の最上流）の流下量、 Q_{out} は河川が1km格子と交わる地点（格子内の最下流）の流下量、 q_i は格子番号 i 内のタンクモデルによる河川への流出量を表す。

※ 河川の流路が変われば流下が変化 → 指数の出現特性が変化

流域雨量指数の計算には

- ダムや堰、水門等の人為的な流水の制御は考慮していない。
- 潮位の影響は反映されない。
- 水位や流量による実況補正の処理は行っていない。
- 本川と支川の合流点付近では、本川の水位が高いときには支川から流れ込みにくくなるが、流域雨量指数はこれを反映しない。

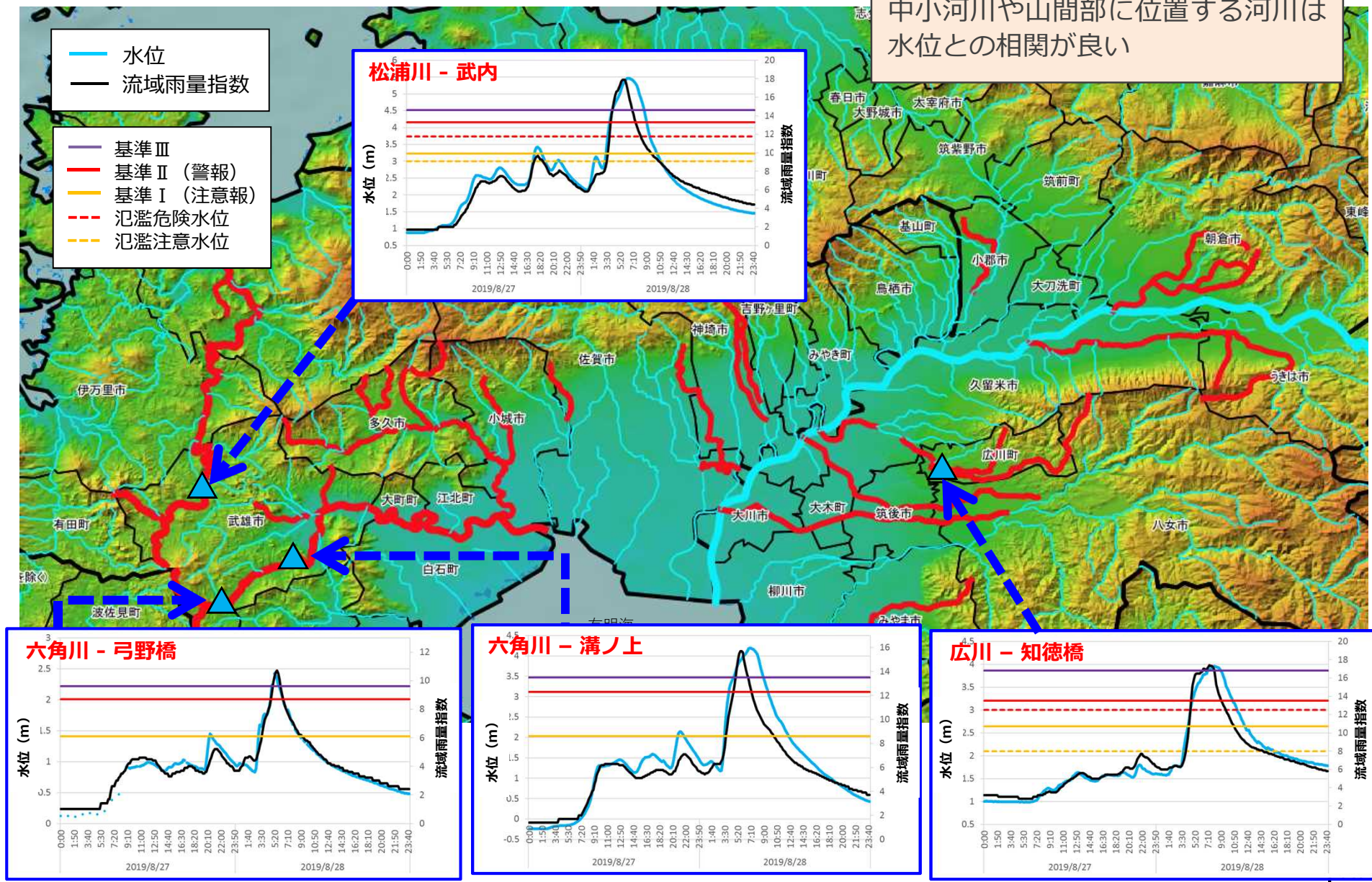
流域雨量指数 ⇨ 実際の水位、流量を推計したものではなく、降った雨が下流の地域へどの程度影響するかを指数化したもの。

流域雨量指数の計算に考慮されない効果は、それらの効果を含めた災害の発生状況と比較して基準値を設定していることにより、間接的に基準に反映され、当該基準値との比較により災害発生のおそれを判断し、警報発表に活用している。

流域雨量指数の特徴 ～河川水位との相関が良い例～

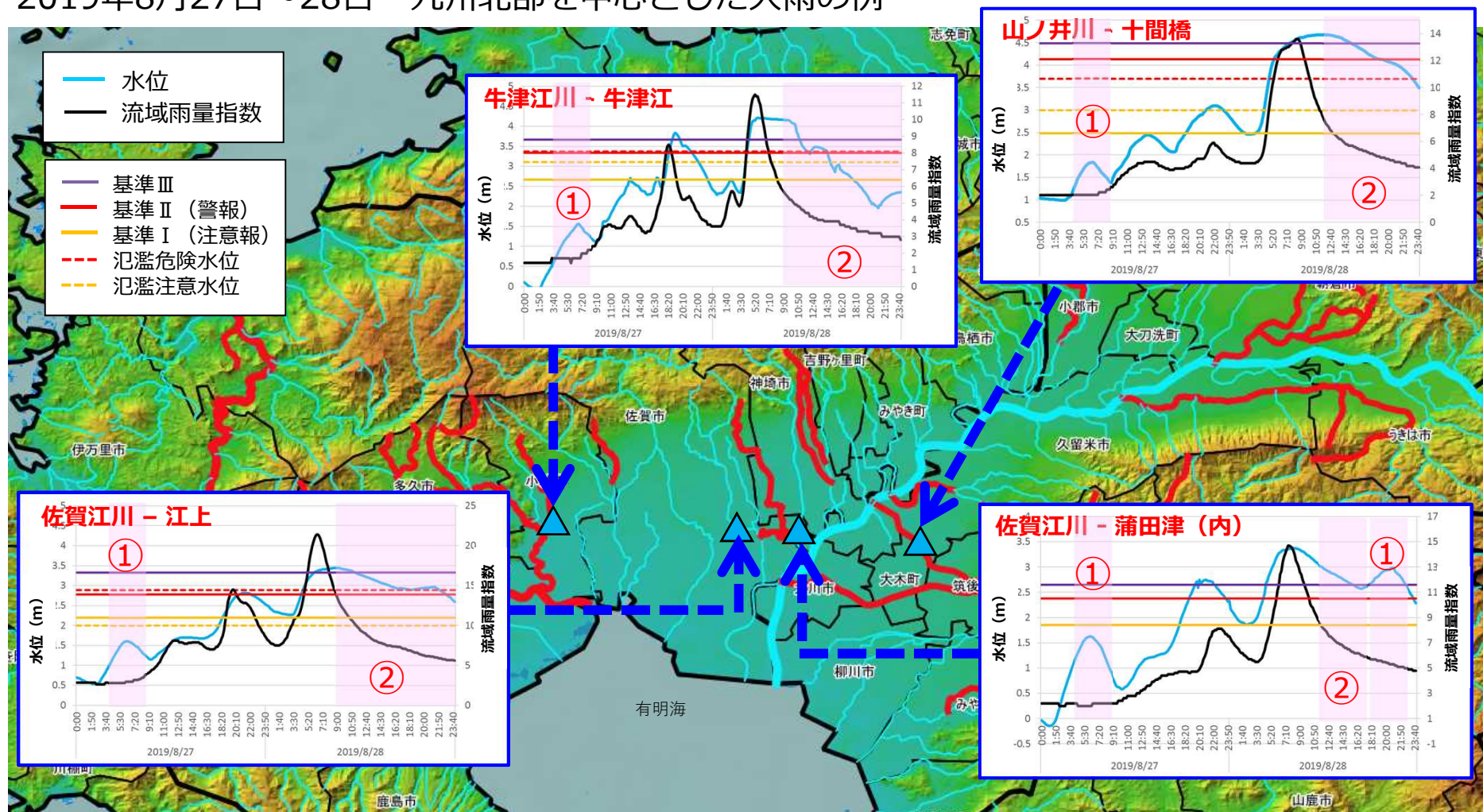
2019年8月27日～28日 九州北部を中心とした大雨の例

中小河川や山間部に位置する河川は
水位との相関が良い



流域雨量指数の特徴 ～河川水位との相関があまり良くない例～

2019年8月27日～28日 九州北部を中心とした大雨の例

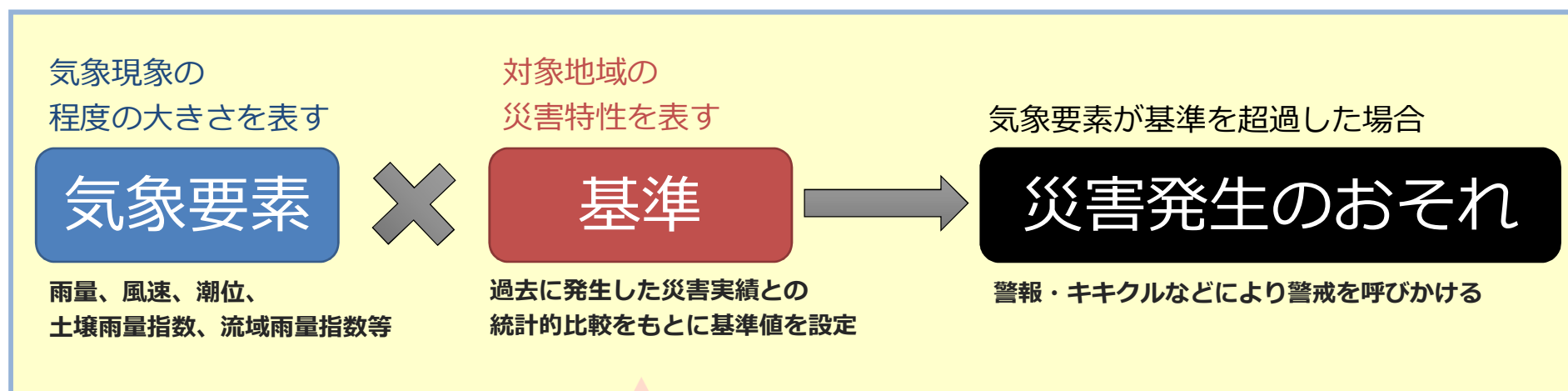


本川への合流点に近い場所や平坦地、沿岸付近では相関があまり良くない場合がある。

- ① 潮位の影響による水位上昇は反映できない
- ② 本川の水位が高く支川に流れ込めない状況を反映できない

警報等の基準の考え方

気象庁の発表する警報の基本的考え方



インフラ整備状況は被害様態の変化として現れるので、災害実績との対応から作成した基準には、その効果が反映される（整備の進んだ地域では基準が高くなる等。）

- 3つの指数は災害との対応の良い指標であるが、あくまで相対的な危険度を表すものである。指数の大きさだけをもって災害発生のおそれを直接判断することはできない。
- 指数(気象要素)による災害発生のおそれは「基準」と比較して判断する必要がある。



自治体や住民の方には、「指数」そのものの値ではなく、基準で判定した結果である「警報」や「キキクル」を活用いただく

警戒レベル相当情報 ～防災気象情報と警戒レベル～

- 警戒レベルとは、5段階に整理した「住民が取るべき行動」と「行動を促す情報（避難情報等）」とを関連付けるもの。
- 警戒レベル相当情報とは、様々な防災気象情報のうち、避難情報等の発令基準に活用する情報について、警戒レベルとの関連を明確化して伝えることにより、住民の主体的な行動を促すためのもの。

警戒レベル	状況	住民が取るべき行動	行動を促す情報（避難情報等）	住民が自ら行動をとる際の判断に参考となる防災気象情報				
				洪水等に関する情報			土砂災害に関する情報	高潮に関する情報
警戒レベル相当情報	水位情報がある場合 (下段：国管理河川の洪水の危険度分布※1)	水位情報がない場合 (下段：洪水警報の危険度分布)	内水氾濫に関する情報	土砂災害に関する情報 (下段：土砂災害の危険度分布)	高潮に関する情報			
5	災害発生又は切迫	命の危険直ちに安全確保！	緊急安全確保 (必ず発令されるものではない)	5相当 氾濫発生情報 (危険度分布：黒 (氾濫している可能性))	大雨特別警報 (浸水害)※2 危険度分布：黒 (浸水切迫)	大雨特別警報 (土砂災害) 危険度分布：黒 (浸水切迫)	高潮氾濫発生情報※3	
4	災害のおそれ高い	危険な場所から全員避難	避難指示 (令和3年の防災改正以前の避難勧告のタイミングで発令)	4相当 氾濫危険情報 (危険度分布：紫 (氾濫危険水位超過相当))	危険度分布：紫 (危険)	内水氾濫危険情報 (水位周知下水道において発表される情報)	土砂災害警戒情報 危険度分布：紫 (危険)	高潮特別警報※4 高潮警戒※4
3	災害のおそれあり	危険な場所から高齢者等は避難※	高齢者等避難	3相当 氾濫警戒情報 (危険度分布：赤 (避難判断水位超過相当))	洪水警戒 危険度分布：赤 (警戒)	大雨警戒(土砂災害) 危険度分布：赤 (警戒)	高潮警戒に切り替える可能性に言及する高潮注意報	
2	気象状況悪化	自らの避難行動を確認する	洪水、大雨、高潮注意報	2相当 氾濫注意情報 (危険度分布：黄 (氾濫注意水位超過))	危険度分布：黄 (注意)	危険度分布：黄 (注意)		
1	今後気象状況悪化のおそれ	災害への心構えを高める	早期注意情報	1相当				

市町村は、警戒レベル相当情報の他、暴風や日没の時刻、堤防や樋門等の施設に関する情報なども参考に、総合的に避難指示等の発令を判断する

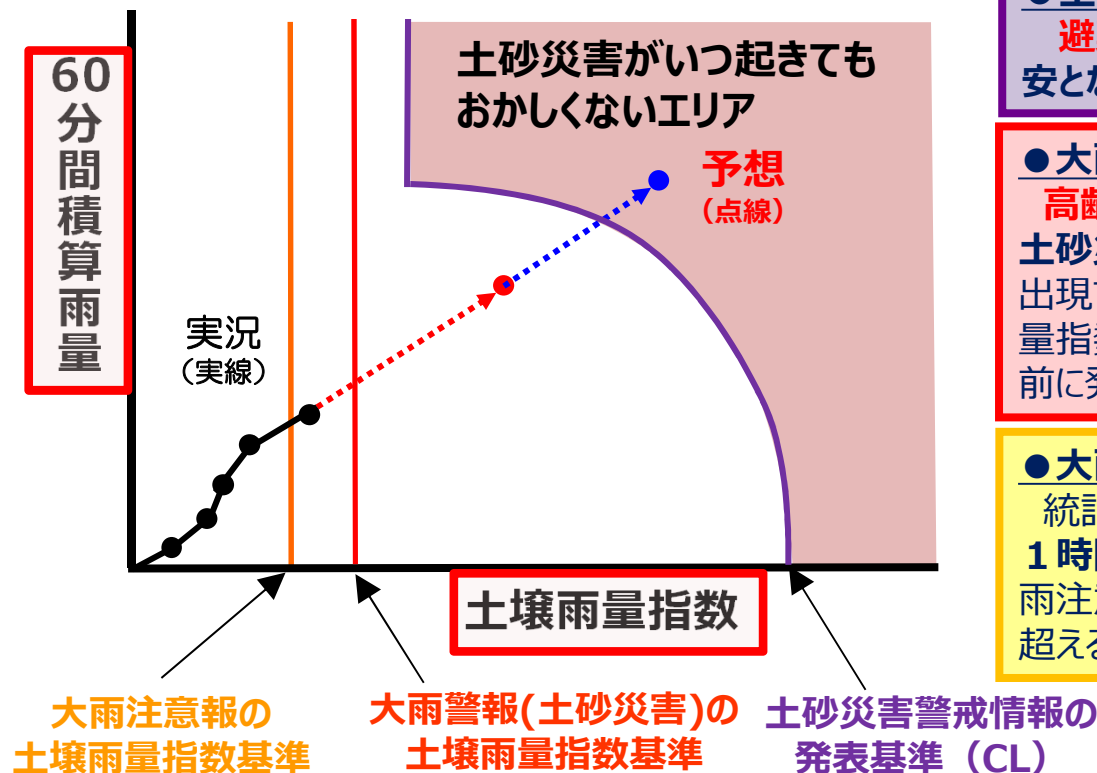
※高齢者等以外の人も、必要に応じ、普段の行動を見合わせたり、避難の準備をしたり、自主的に避難

上段太字：危険性が高まるなど、特定の条件となった際に発表される情報（市町村に対し関係機関からプッシュ型で提供される情報）
下段細字：常時、地図上での色表示などにより状況が提供されている情報（市町村が自ら確認する必要がある情報）

- ※1) HP上に公表している国管理河川の洪水の危険度分布(水害リスクライン)では、観測水位等から詳細(左右岸200m毎)の現況水位を推定し、その地点の堤防等の高さと比較することで警戒レベル2～5相当の危険度を表示。
- ※2) 水位情報がないような中小河川における氾濫は、外水氾濫、内水氾濫のいずれによるものかの区別がつかない場合が多いため、これらをまとめて大雨特別警報(浸水害)の対象としている。
- ※3) 水位周知海岸において都道府県知事から発表される情報。台風に伴う高潮の潮位上昇は短時間に急激に起こるため、潮位が上昇してから行動しては安全に立退き避難ができないおそれがある。
- ※4) 高潮警戒は、高潮により命に危険が及ぶおそれがあると予想される場合に、暴風が吹き始めて屋外への立退き避難が困難となるタイミングも考慮して発表されるため、また、高潮特別警報は、数十年に一度の強度の台風や同程度の温帯低気圧により高潮になると予想される場合に高潮警戒を高潮特別警報として発表するため、両方を警戒レベル4相当情報に位置付けている。
- 注) 本資料では、気象庁が提供する「大雨警戒(土砂災害)の危険度分布」と都道府県が提供する「土砂災害危険度情報」をまとめて、「土砂災害の危険度分布」と呼ぶ。

土砂災害の危険度 ～スネークラインによる評価～

- 土砂災害の危険度は、長時間降り続き地中に溜まる水分量（土壌雨量指数）だけでなく、短時間で降る雨の量（60分間積算雨量）と組み合わせて評価。
- スネークライン図は、刻々と変化する60分間積算雨量と土壌雨量指数の状態を一定時間毎につないだ線で、スネークラインが土砂災害警戒情報の基準線を超えると土砂災害の危険性が非常に高まっていることを示す。



●土砂災害警戒情報

避難に必要な時間を考慮し、土砂災害発生の目安となる基準に達する概ね2時間前に発表する。

●大雨警報（土砂災害）

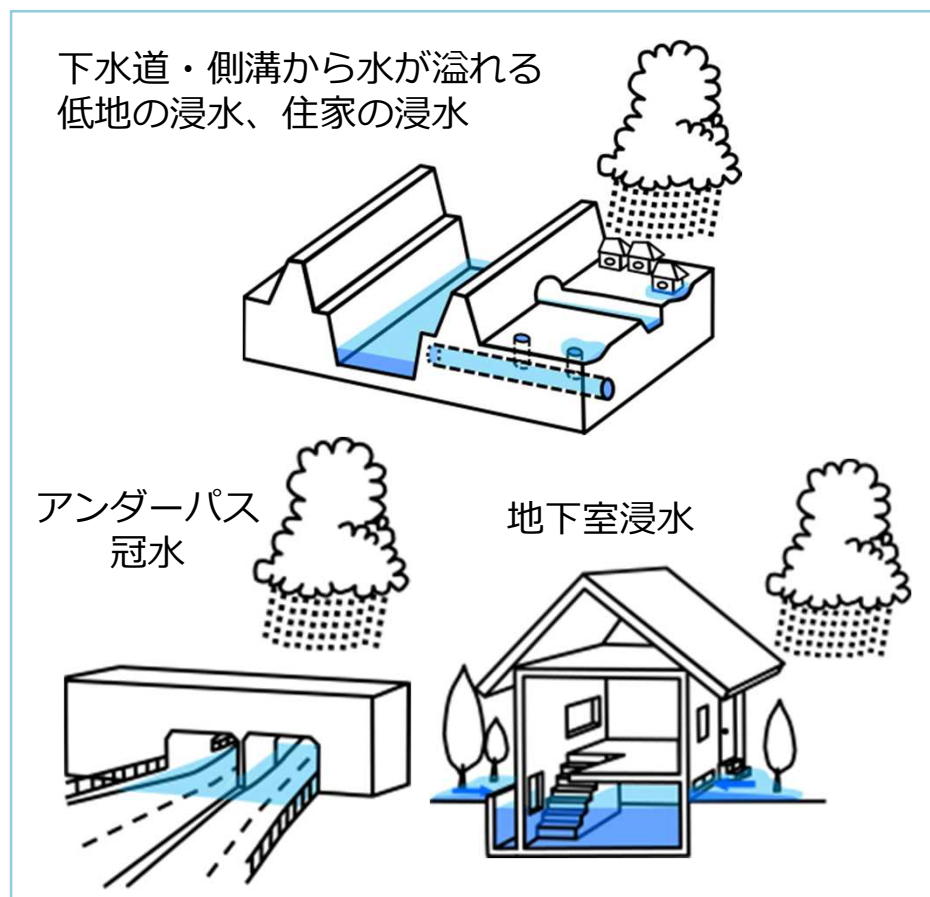
高齢者等の避難に必要な時間を考慮し、統計的に、土砂災害警戒情報発表基準の概ね1時間程度前に出現する土壌雨量指数の値を、大雨警報の土壌雨量指数基準に設定し、その基準を超える2～6時間前に発表する。

●大雨注意報

統計的に、大雨警報の土壌雨量指数基準の概ね1時間程度前に出現する土壌雨量指数の値を、大雨注意報の土壌雨量指数基準に設定し、その基準を超える2～6時間前に発表する。

大雨警報（浸水害）・注意報の基準

対象となる災害



各基準の設定の考え方

Ⅲ 警報基準を 大きく超過 した基準	重大な浸水害が発生する おそれが高い 警報対象災害に対して、 <u>適中率</u> を <u>重視</u> して表面雨量指数基準値を 設定。	警 報 相 当
Ⅱ 大雨警報 の基準	重大な浸水害が発生する おそれ 警報対象災害に対して、 <u>捕捉率</u> を <u>重視</u> して表面雨量指数基準値を 設定。	
I 大雨注意報 の基準	浸水害が発生するおそれ 注意報対象災害に対して、捕捉率 を重視して表面雨量指数基準値を 設定。	注 意 報 相 当

過去に発生した浸水害との関係や、それぞれの値に達する頻度等を調査の上、
基準を設定する。**基準値は二次細分区域※ごとに設定（二次細分区域内で一様）。**

※ 二次細分区域とは気象警報・注意報の発表に用いる区域のこと。
市町村（東京特別区は区）を原則とするが、一部市町村を分割して設定している場合もある。

洪水警報・注意報の基準設定の考え方

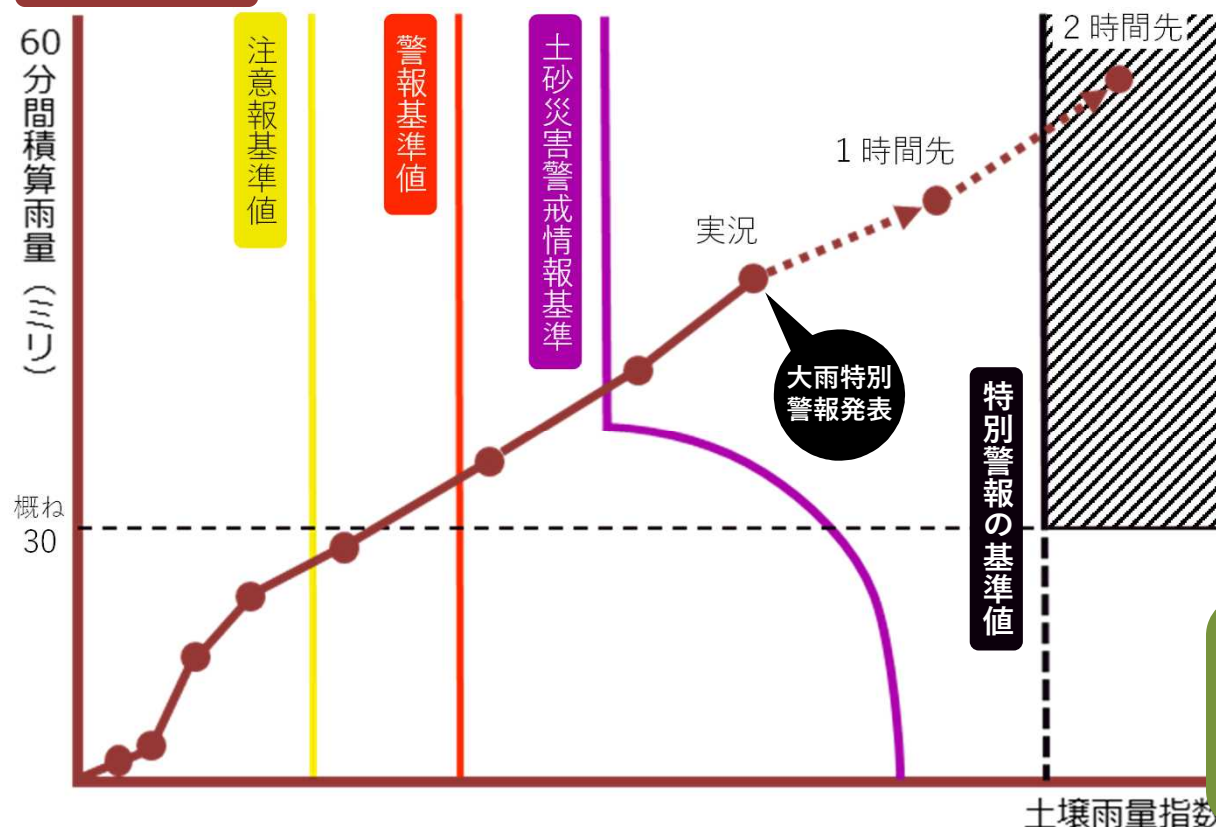
基準	基準要素	基準設定手法	
		調査対象期間に災害発生あり	調査対象期間に災害発生なし
警報相当	Ⅲ 流域雨量指数基準	河川流域で発生した外水氾濫に起因する重大な浸水害を <u>高い確度で適中させる</u> ように設定。	基準超過頻度を考慮し、 <u>50年確率値</u> を設定。
	Ⅱ 流域雨量指数基準	河川流域で発生した外水氾濫に起因する重大な浸水害を <u>見逃さない</u> ように設定。	基準超過頻度を考慮し、 <u>30年確率値</u> を設定。 (調査期間(30年間程度)で1回基準超過するレベルに設定)
	Ⅱ 複合基準 表面雨量指数＋流域雨量指数	河川流域で発生した内水氾濫に起因する重大な浸水害を <u>見逃さない</u> ように設定。	設定しない。
注意報相当	Ⅰ 流域雨量指数基準	河川流域で発生した外水氾濫に起因する浸水害（警報まで至らない軽微なもの）を <u>見逃さない</u> ように設定。	基準超過頻度を考慮し、基準Ⅱの7～8割に設定。
	Ⅰ 複合基準 表面雨量指数＋流域雨量指数	河川流域で発生した内水氾濫に起因する浸水害（警報まで至らない軽微なもの）を <u>見逃さない</u> ように設定。	設定しない。

- **流域雨量指数基準は**、災害の有無に関わらず、流域雨量指数を計算している**全ての河川に設定**する。ただし、洪水予報河川については、指定河川洪水予報により氾濫への警戒を呼びかけるので、流域雨量指数基準は設定しない。
- **複合基準は**、過去に**対象災害（外水氾濫または内水氾濫に起因する浸水害）が発生していた河川についてのみ設定**する。対象災害が発生していなければ、複合基準は設定しない。

大雨特別警報（土砂災害）の基準値の設定

多大な災害が発生した時間帯の指数の値を発表指標における基準値とする。

イメージ図



基準値の設定に用いる災害

土砂災害警戒情報

→集中的に発生する急傾斜地崩壊及び土石流

大雨特別警報（土砂災害）

→多大な被害をもたらす土砂災害（大規模または同時多発的な土石流）

※ 特別警報の基準値は、警報・注意報の基準値と同様、定期的に見直しを検討することとする。

局所的な土砂災害を引き起こす溪流の広さを念頭に、キキクル（危険度分布）のもととなる指数の解析精度等も考慮して概ね10格子とする。
※1km格子が10個未満の島も発表対象となり得る（周囲の降雨状況等から総合的に判断）

多大な被害をもたらした現象に相当する基準値を設定し、この基準値以上となる1 km格子が概ね10格子以上まとまって出現すると予想され、かつ、土砂災害発生に関係するような激しい雨※がさらに降り続けると予想される場合、大雨特別警報を発表。

※ 10分間に概ね5ミリ以上（1時間に概ね30ミリ以上）の雨に相当。

大雨特別警報（浸水害）の指標、基準値設定の考え方

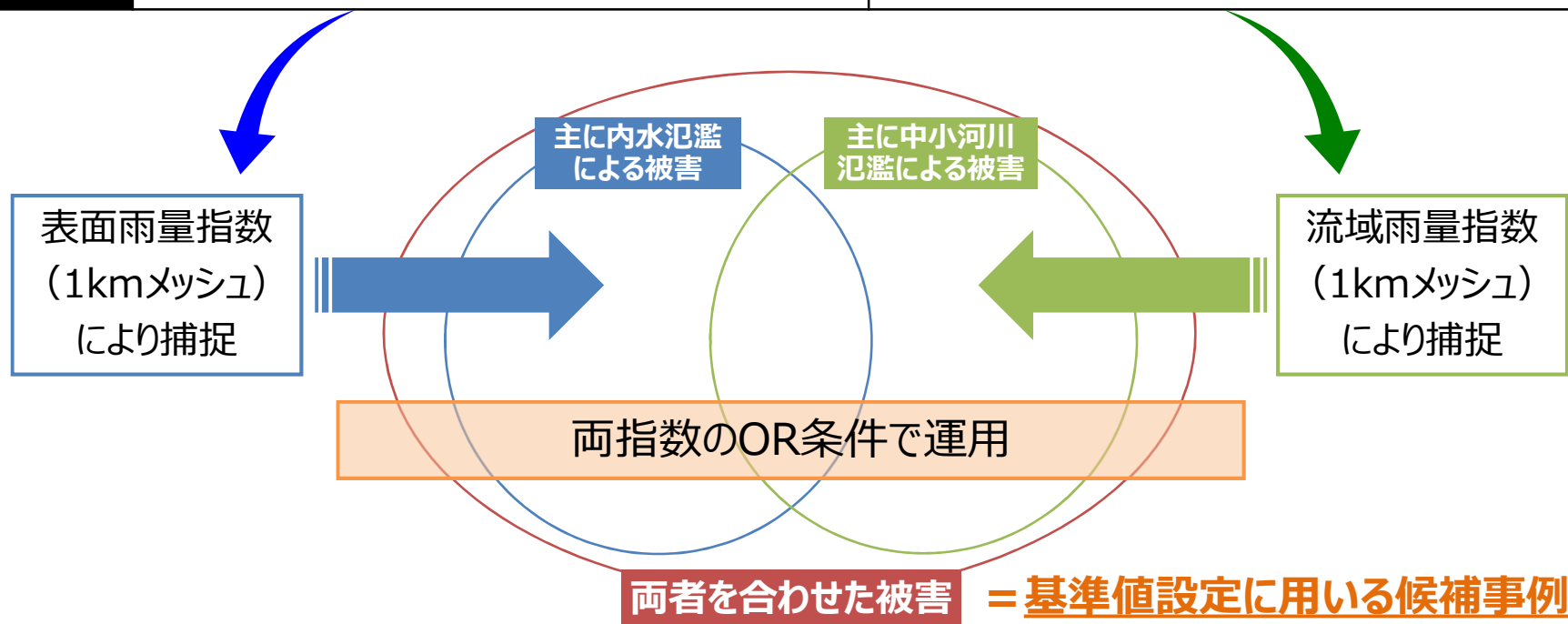
基準Ⅳ

大雨特別警報
の指標に用いる
基準値

大規模な浸水害※を高い確度で適中させるよう指標、基準値を設定

内水氾濫に起因する大規模な浸水害※を適中させるように表面雨量指数の指標、基準値を設定

中小河川氾濫に起因する大規模な浸水害※を適中させるように流域雨量指数の指標、基準値を設定



発表条件

基準値以上となる 1 km四方の格子が一定数以上まとまって出現する状況

※ 指標に用いる基準値は基準Ⅲ（キキクル紫の基準）からの超過率として都道府県単位で設定

※大規模な浸水害：床上浸水と住家全半壊の合計が 1 市町村あたり300棟以上

防災気象情報に関する検討会

防災気象情報の体系整理と最適な活用に向けて（「防災気象情報に関する検討会」取りまとめ） 国土交通省

- シンプルでわかりやすい防災気象情報の再構築に向け、防災気象情報全体の体系整理や個々の情報の見直し、受け手側の立場に立った情報への改善などを取りまとめ。

警戒レベル相当情報の体系整理

◎ シンプルでわかりやすい情報体系・名称に整理

【洪水】：氾濫による社会的な影響が大きい河川（洪水予報河川、水位周知河川）の外水氾濫を対象とし、河川ごとの情報とする。
これ以外の河川の外水氾濫については、内水氾濫と併せて市町村ごとに発表する【大雨浸水】に関する情報とする※1。

【土砂災害】：発表基準の考え方を統一し、災害発生の確度に応じて段階的に発表する情報とする。

【高潮】：潮位に加えて沿岸に打ち寄せる波の影響を考慮し、災害発生又は切迫までの猶予時間に応じ段階的に発表する情報とする。

		洪水に関する情報 「洪水危険度」	大雨浸水に関する情報 「大雨危険度」※ 1	土砂災害に関する情報 「土砂災害危険度」	高潮に関する情報 「高潮危険度」
		氾濫による社会的影響大の 河川（洪水予報河川、水位 周知河川）の外水氾濫	内水氾濫及び左記以外の 河川の外水氾濫		
発表単位		河川ごと	基本的に市町村ごと	基本的に市町村ごと	沿岸ごと又は市町村 ごと※2
警戒レベル相当情報※4	5 相当	レベル5 氾濫特別警報※3	レベル5 大雨特別警報	レベル5 土砂災害特別警報	レベル5 高潮特別警報※3
	4 相当	レベル4 氾濫危険警報	レベル4 大雨危険警報	レベル4 土砂災害危険警報	レベル4 高潮危険警報
	3 相当	レベル3 氾濫警報	レベル3 大雨警報	レベル3 土砂災害警報	レベル3 高潮警報
	2	レベル2 氾濫注意報	レベル2 大雨注意報	レベル2 土砂災害注意報	レベル2 高潮注意報

左記情報名称のポイントをシンプルに表現
→将来的に「警戒レベル」が社会に十分に浸透した際には、以下のようなシンプルな形の名称を検討することも一案。

	洪水危険度	大雨危険度	土砂危険度	高潮危険度
5相当	洪水レベル5	大雨レベル5	土砂レベル5	高潮レベル5
4相当	洪水レベル4	大雨レベル4	土砂レベル4	高潮レベル4
3相当	洪水レベル3	大雨レベル3	土砂レベル3	高潮レベル3
2	洪水レベル2	大雨レベル2	土砂レベル2	高潮レベル2

・ 情報名称の最終決定は、法制度や実際の情報の運用、伝え方なども踏まえ、気象庁・国土交通省が行う。

※1 警戒レベル相当情報への位置づけについては、関係機関で今後の課題として検討。

※2 発表単位をどうすべきかについては、情報利用者の視点も踏まえつつ、引き続き関係機関で検討。

※3 洪水予報河川または水位周知河川、高潮に関する情報の対象沿岸において氾濫の発生を確認した場合、その旨を氾濫特別警報または高潮特別警報の文章情報等に明記。

※4 警戒レベル相当情報とは、国・都道府県が発表する防災気象情報のうち、居住者等が自ら行動をとる際の判断に参考となる防災気象情報と5段階の警戒レベルとを関連付けけるものである。警戒レベル相当情報が発表されたとしても必ずしも同時刻に同じレベルの避難情報が発令されるものでない。

防災気象情報に関する検討会

(参考) 警戒レベル相当情報の体系整理 (洪水等)

現状

洪水に関する情報					大雨浸水に関する情報
分類	洪水予報河川	水位周知河川		洪水予報河川・水位周知河川以外の河川	
河川数	429河川	1,774河川		約20,000河川※1	—
発表主体	河川事務所または都道府県と気象台	河川事務所または都道府県	気象台	気象台	気象台
発表単位	河川ごと	河川ごと	市町村ごと	市町村ごと	市町村ごと
対象とする現象	外水氾濫	外水氾濫	外水氾濫 潜水型の内水氾濫	外水氾濫 潜水型の内水氾濫	内水氾濫による浸水 (外水氾濫による浸水※2)
発表指標	【2～4相当】 水位 (実測・予測) 【5相当】 実現象 (確認)	【2～4相当】 水位 (実測のみ) 【5相当】 実現象 (確認)	流域雨量指数 表面雨量指数 (解析・予測)	流域雨量指数 表面雨量指数 (解析・予測)	表面雨量指数 (流域雨量指数※2) (解析・予測)
情報名称	5相当	氾濫発生情報	氾濫発生情報		【5相当】大雨特別警報 (浸水害) ※2
	4相当	氾濫危険情報	氾濫危険情報		
	3相当	氾濫警戒情報	氾濫警戒情報	洪水警報	大雨警報 (浸水害) 大雨注意報 警戒レベル相当情報としての位置づけなし
	2 (相当)	氾濫注意情報	氾濫注意情報	洪水注意報	

- ※1 洪水キキクルで対象としている河川数 (準用河川や普通河川も含まれる)
- ※2 大雨特別警報 (浸水害) のみ外水氾濫も対象とする

改善 (イメージ)

洪水に関する情報			大雨浸水に関する情報 (洪水予報河川・水位周知河川以外 (その他河川) の洪水に関する情報を含む)
分類	洪水予報河川	水位周知河川	
河川数	429河川	1,774河川	—
発表主体	河川事務所または都道府県と気象台	関係機関が協力して発表	気象台
発表単位	河川ごと	河川ごと	市町村ごと
対象とする現象	外水氾濫	外水氾濫	内水氾濫による浸水 (潜水型の内水氾濫も含む) その他河川の外水氾濫
発表指標	【2～4相当】 水位 (実測・予測) 【5相当】 実現象 (確認)	【2～4相当】 水位 (実測のみ) 【流域雨量指数※3】 (解析・予測) 【5相当】 実現象 (確認)	表面雨量指数 流域雨量指数 (解析・予測)
情報名称	5相当	レベル5 氾濫特別警報	レベル5 大雨特別警報
	4相当	レベル4 氾濫危険警報	レベル4 大雨危険警報
	3相当	レベル3 氾濫警戒情報	レベル3 大雨警戒情報
	2 (相当)	レベル2 氾濫注意情報	レベル2 大雨注意情報

- ※3 住民等に対し今後の水位の見込みを伝える際に活用

警戒レベル相当情報に位置付けること等について、今後の課題として事務局にて関係機関の協力も得て検討

情報名称の最終決定は、法制度や実際の情報の運用、伝え方なども踏まえ、気象庁・国土交通省が行う

防災気象情報に関する検討会

(参考) 警戒レベル相当情報の体系整理 (土砂災害、高潮)

【土砂災害】

情報名称の最終決定は、法制度や実際の情報の運用、伝え方なども踏まえ、気象庁・国土交通省が行う

<現状>

土砂災害に関する情報		
発表主体	都道府県と気象台	気象台
発表単位	市町村ごと	市町村ごと
発表指標	60分雨量 (解析・予測) 土壌雨量指数 (解析・予測)	土壌雨量指数 (解析・予測)
情報名称	5相当	大雨特別警報 (土砂災害)
	4相当	土砂災害警戒情報
	3相当	大雨警報 (土砂災害)
	2	大雨注意報

<改善 (イメージ)>

土砂災害に関する情報		
発表主体	関係機関が協力して発表	
発表単位	市町村ごと	
発表指標	60分雨量 (解析・予測) 土壌雨量指数 (解析・予測)	
情報名称	5相当	レベル5 土砂災害特別警報
	4相当	レベル4 土砂災害危険警報
	3相当	レベル3 土砂災害警報
	2	レベル2 土砂災害注意報

【高潮】

<現状>

高潮に関する情報		
発表主体	都道府県	気象台
発表単位	沿岸ごと	市町村ごと
発表指標	潮位 (実況)	潮位 (実況・予測)
情報名称	5相当	高潮氾濫発生情報
	4相当	高潮特別警報 高潮警報
	3相当	警報に切り替える可能性が高い 高潮注意報
	2	高潮注意報

<改善 (イメージ)>

高潮に関する情報		
発表主体	関係機関が協力して発表	
発表単位	沿岸ごとまたは市町村ごと※	
発表指標	波浪のうちあげ高 (実況・予測) 潮位 (実況・予測)	
情報名称	5相当	レベル5 高潮特別警報
	4相当	レベル4 高潮危険警報
	3相当	レベル3 高潮警報
	2	レベル2 高潮注意報

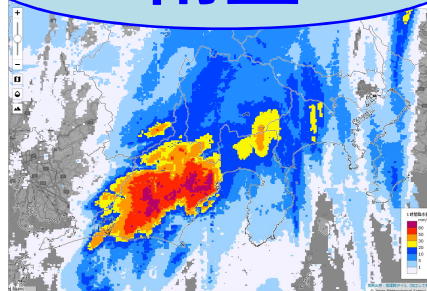
※ 情報利用者の視点も踏まえつつ、引き続き関係機関で検討

キキクル（危険度分布）

キキクルとは ～雨量の予報から災害危険度の予報へ～

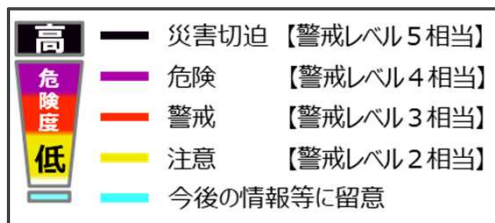
- 雨量データから、災害との対応の良い指標（指数）を開発。
- 過去の災害データを用いて危険度の高まりに応じた基準を段階的に設定し、雨量予測データから算出した危険度を地図上に色分けして表示（黄→赤→紫→黒）。
- 注意報、警報、土砂災害警戒情報、指定河川洪水予報、特別警報に対応する危険度がひと目で分かる。
- 「黒」の領域では、大雨による災害がすでに発生している可能性が高い状況。
- 「黒」を待つことなく、「紫」が出現した段階で速やかに安全な場所に避難することが極めて重要。

雨量



今後の雨(降水短時間予報)/降水ナウキャスト

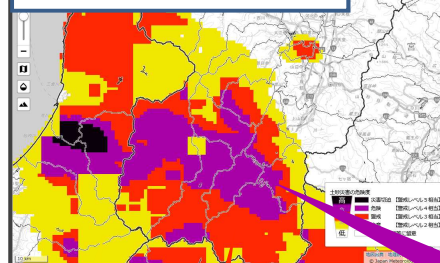
危険度



土砂災害

土砂キキクル
(大雨警報(土砂災害)の危険度分布)

2時間先までの予測



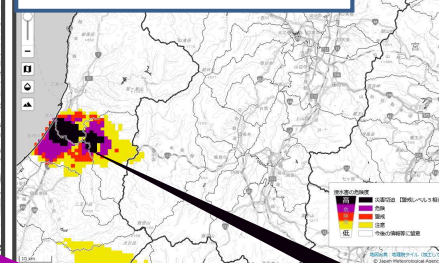
注意

警戒

浸水害

浸水キキクル
(大雨警報(浸水害)の危険度分布)

1時間先までの予測

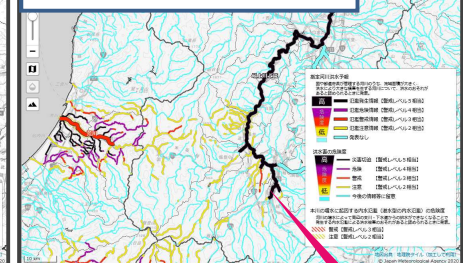


土砂災害警戒情報に対応する危険度の高まり（警戒レベル4相当）も確認可能

洪水

洪水キキクル
(洪水警報の危険度分布)

3時間先までの予測



特別警報に対応する危険度の高まり（警戒レベル5相当）も確認可能

指定河川洪水予報に対応する危険度の高まりも確認可能

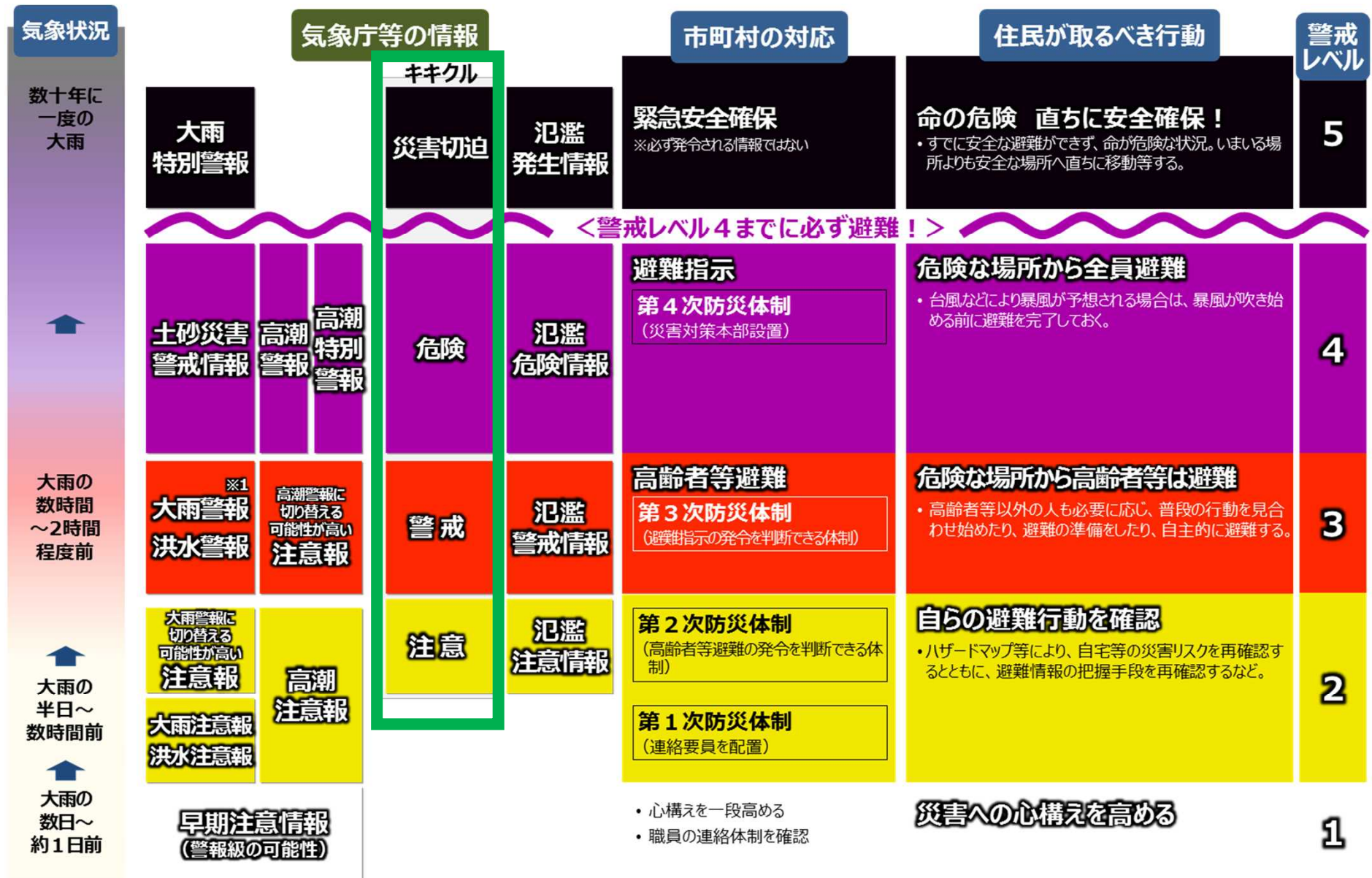
キキクルの5色の表示条件

予測精度・避難行動にかかる時間を踏まえて各キキクルの予測時間を設定

色	基準	表示条件（危険の切迫度）		
		土砂キキクル	浸水キキクル	洪水キキクル
黒	基準Ⅳ 特別警報基準	すでに基準Ⅳに到達した場合	すでに基準Ⅳに到達した場合	すでに基準Ⅳに到達した場合
紫	基準Ⅲ 警報基準を大きく 超過した基準	2時間先までに基準Ⅲに到達 すると予測される場合	1時間先までに基準Ⅲに到達 すると予測される場合	3時間先までに基準Ⅲに到達 すると予測される場合
赤	基準Ⅱ 警報基準	2時間先までに基準Ⅱに到達 すると予測される場合	1時間先までに基準Ⅱに到達 すると予測される場合	3時間先までに基準Ⅱに到達 すると予測される場合
黄	基準Ⅰ 注意報基準	2時間先までに基準Ⅰに到達 すると予測される場合	1時間先までに基準Ⅰに到達 すると予測される場合	3時間先までに基準Ⅰに到達 すると予測される場合
—		2時間先までに基準Ⅰに到達 しないと予測される場合	1時間先までに基準Ⅰに到達 しないと予測される場合	3時間先までに基準Ⅰに到達 しないと予測される場合

※令和4年6月30日に、「うす紫」と「濃い紫」を「紫」に統合。

5段階の警戒レベルとキキクル



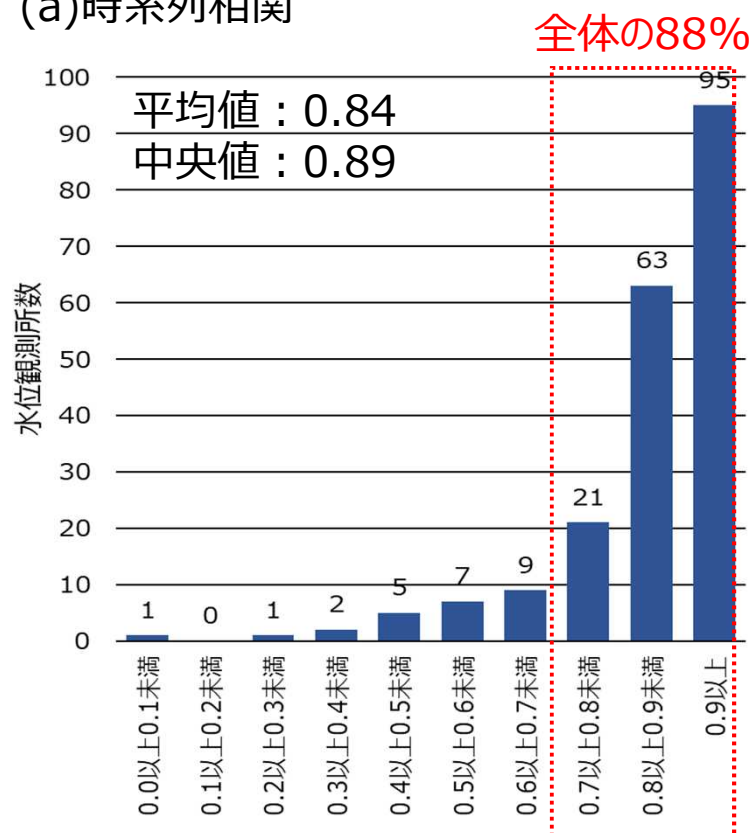
※1 夜間～翌日早朝に大雨警報(土砂災害)に切り替える可能性が高い注意報は、警戒レベル3(高齢者等避難)に相当します。

「避難情報に関するガイドライン」(内閣府)に基づき気象庁において作成

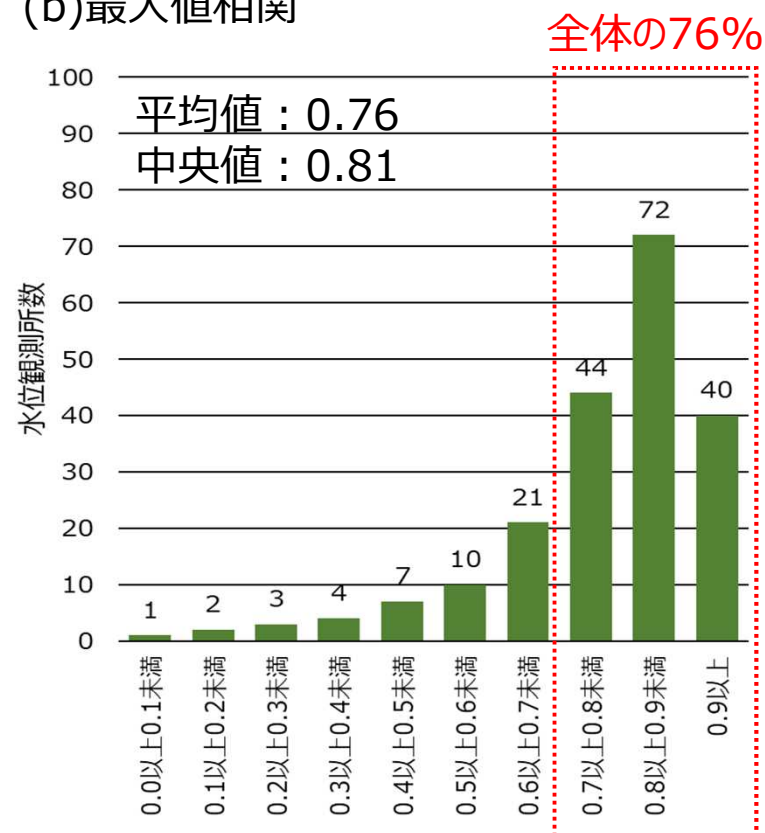
- 期間：2017～2022年の6年間
- データ：全国の水位周知河川の水位観測所※からランダムに抽出した204地点
※気象庁に水位データ入電している水位観測所かつ水位周知区間内の水位観測所
- 検証事例：期間内の出水事例から各水位観測所の上位20事例（全3,901事例）
このうち氾濫危険水位に到達した事例は142事例。
- 検証方法
 - 時系列相関
各事例において、水位と流域雨量指数の時系列データから相関係数を算出し、全事例の相関係数を平均したもの。この相関が高いほど、洪水波形の再現性がよいことを示す。
 - 最大値相関
各事例の水位及び流域雨量指数それぞれの最大値の相関をとったもの。この相関が高いほど、洪水規模を的確に再現していることを示す。これは、適切な流域雨量指数基準の設定によって、精度の高い（見逃しや空振りのない）危険度が提供可能であることを意味する。
 - ピーク時刻差
各事例において、水位と流域雨量指数のピーク時刻の差を算出したもの。差が小さいほど、洪水予測モデルとして適切であることを示す。

検証結果（時系列相関・最大値相関）

(a)時系列相関



(b)最大値相関

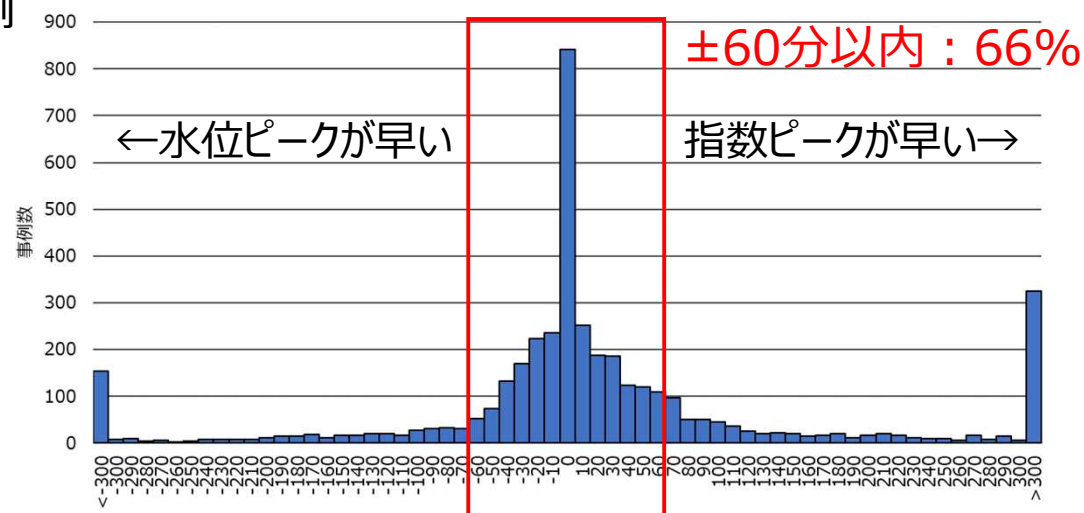


時系列相関：この相関が高いほど洪水波形の再現性が良いことを示す。

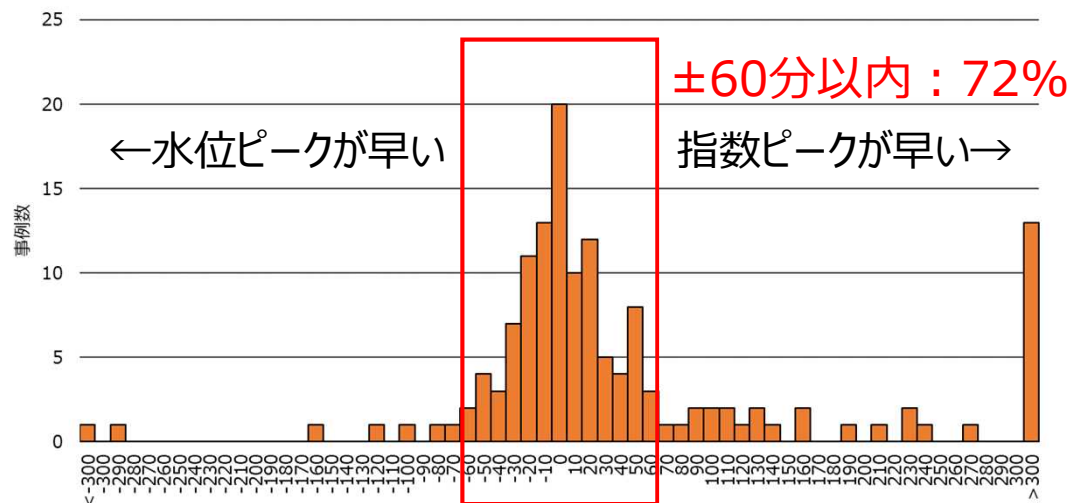
最大値相関：この相関が高いほど、洪水規模を的確に再現していることを示す。

検証結果（ピーク時刻差）

(a) 全事例



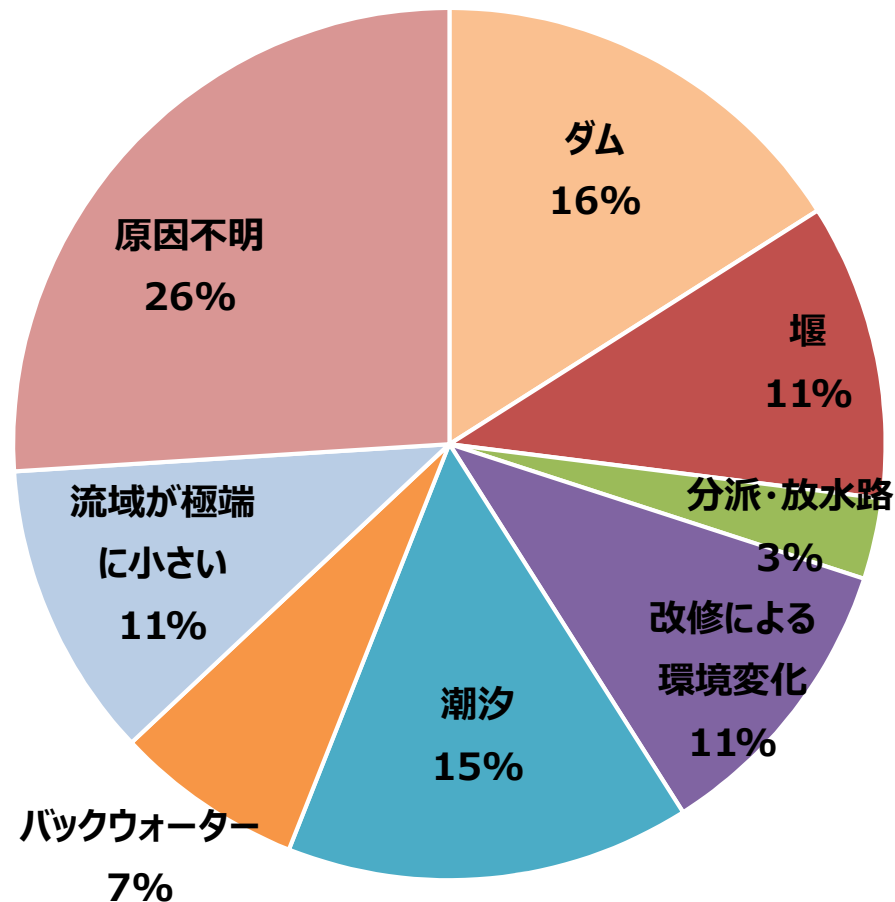
(b) 氾濫危険水位超過事例



ピーク時刻差（分、正：指数の方が水位よりピーク早）

ピーク時刻差：差が小さいほど、洪水予測モデルとして適切であることを示す。

時系列相関または最大値相関のいずれかが相関係数0.7未満であった地点で、相関係数の低下をもたらすと考えられる要因を地図や航空写真等から分類。



ダム・堰

ダム放流量や水位データを指数計算に取り込むことで改善できる可能性

潮汐・バックウォーター

現状の計算方法では表現できず、下流水位をもとに上流水位を逐次計算する不等流解析を導入する必要がある

流域が極端に小さい河川

現状の計算手法では再現できず、計算格子の細分化等モデルのさらなる改良が必要

指数・危険度の予測精度

● 期間

土砂災害は2019～2022年、浸水害・洪水害は2018～2022年

● データ

ルーチン運用で計算された毎正時の実況危険度と予測危険度※

● 検証方法

予測危険度と予測対象時刻の実況危険度を比較し、各基準それぞれに対し「実況超過あり／なし」「予測超過あり／なし」の適中・見逃し・空振りを判定。
以下の計算で適中率・捕捉率・バイアスコアを算出。

$$\text{適中率} = \frac{\text{適中}}{\text{適中} + \text{空振り}}$$

$$\text{捕捉率} = \frac{\text{適中}}{\text{適中} + \text{見逃し}}$$

$$\text{バイアスコア} = \frac{\text{適中} + \text{空振り}}{\text{適中} + \text{見逃し}}$$

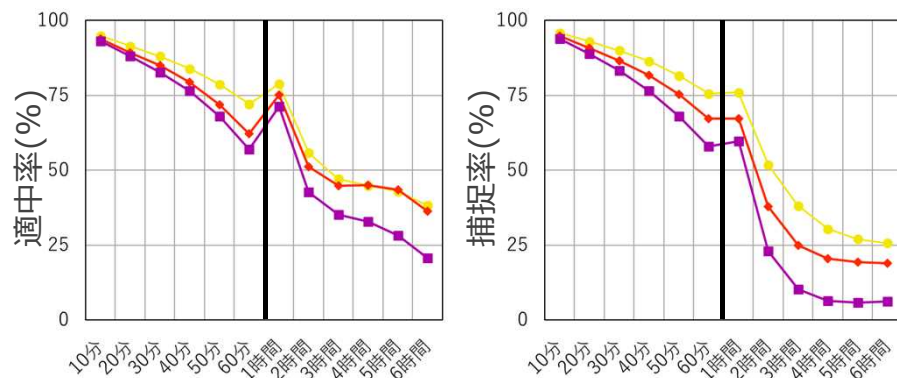
		予測	
		あり	なし
実況	あり	適中	見逃し
	なし	空振り	-

※ 予測危険度の入力となる雨量データが以下の通り異なる

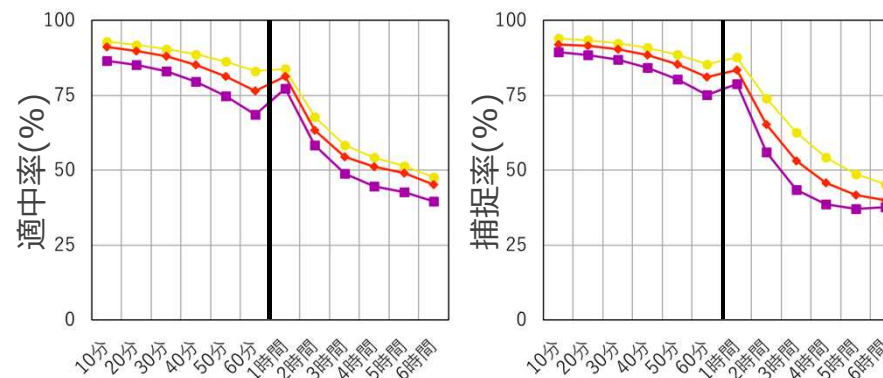
種類	入力となる雨量データ
浸水害・洪水害	降水ナウキャストを入力した1時間先までの10分毎の予測危険度及び降水短時間予報を入力した6時間先までの1時間毎の予測危険度
土砂災害	速報版降水短時間予報を入力した6時間先までの1時間毎の予測危険度

格子単位の検証（適中率・捕捉率）

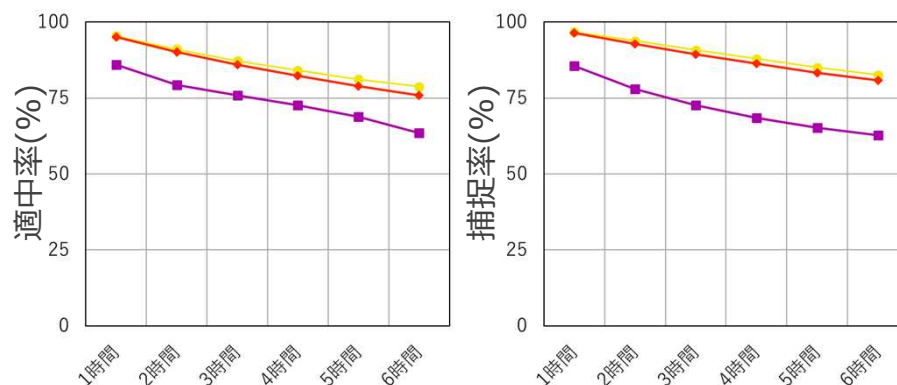
(a) 浸水害



(b) 洪水



(c) 土砂災害



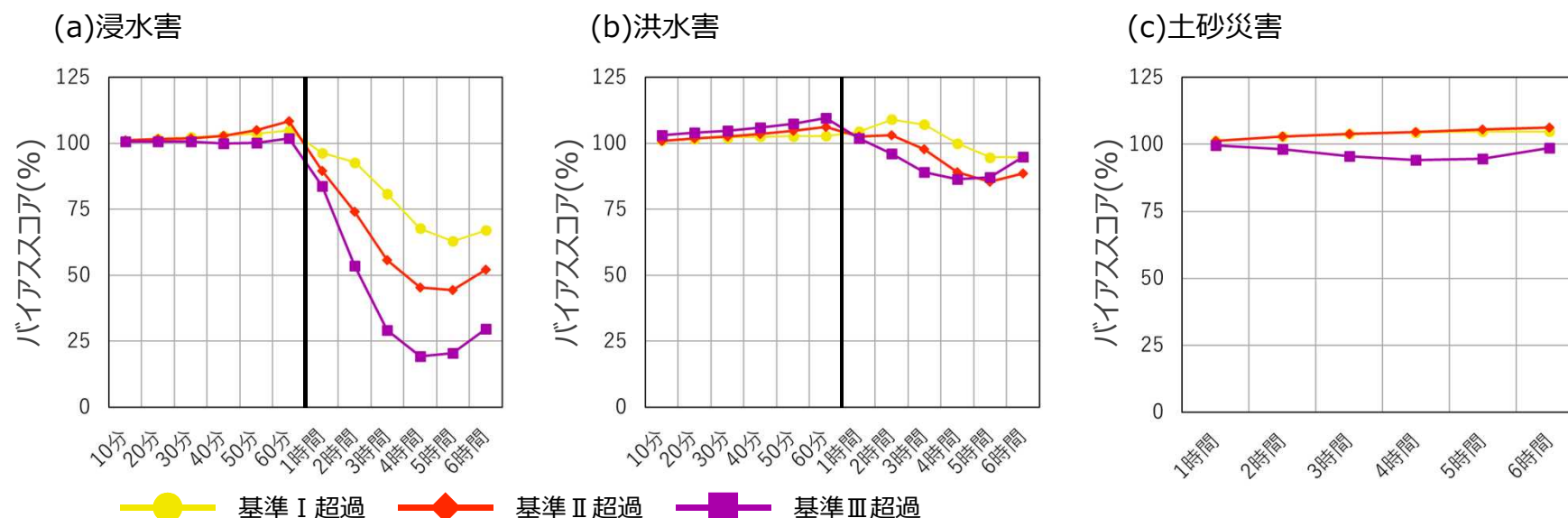
● 基準 I 超過 ◆ 基準 II 超過 ■ 基準 III 超過

基準 I : 注意報基準
基準 II : 警報基準
基準 III : 警報基準を大きく超過した基準
土砂災害の場合は土砂災害警戒情報の発表基準
以下同じ

- 予測時間が長くなるほど精度低下
- 予測時間による精度低下の大きさ
浸水 > 洪水 > 土砂
 - ・ 浸水：予測雨量の精度の影響を受けやすい
 - ・ 洪水：上流域の大きさに依存
 - ・ 土砂：先行降雨の寄与が大きい

図は左が適中率、右が捕捉率

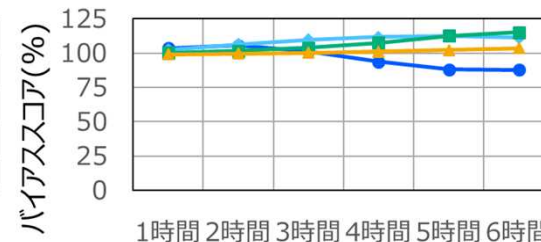
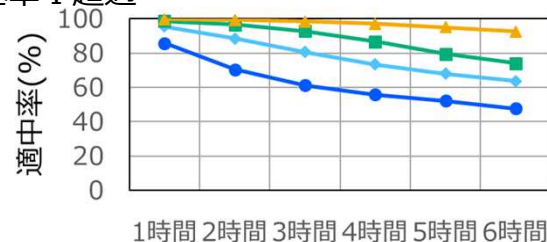
格子単位の検証 (バイアスコア)



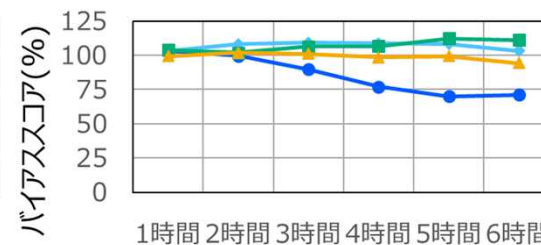
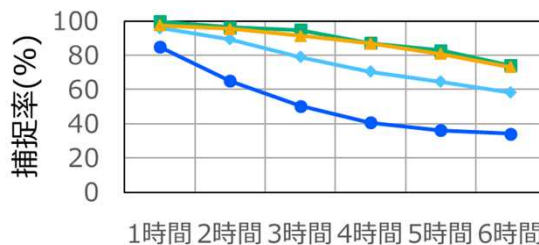
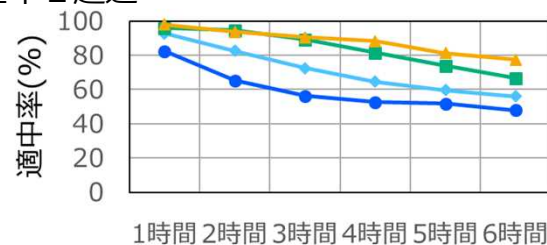
- 浸水害と洪水害は降水ナウキャストの予測はやや過大だが、
降水短時間予報は過小バイアス傾向
特に浸水害は上位の基準ほど過小バイアスが顕著であり、数時間先以降の危険度予測が
特に難しいことを示している
- 土砂災害は6時間先でもほぼ中立を維持

流域面積毎の検証

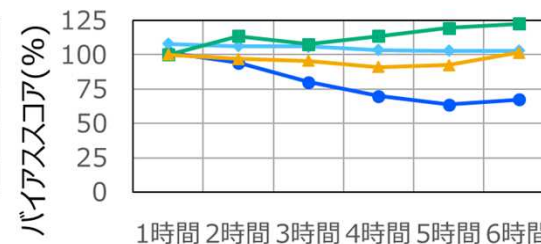
(a)基準Ⅰ超過



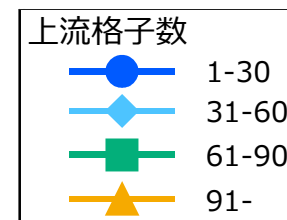
(b)基準Ⅱ超過



(c)基準Ⅲ超過



左から適中率、捕捉率、バイアスコア

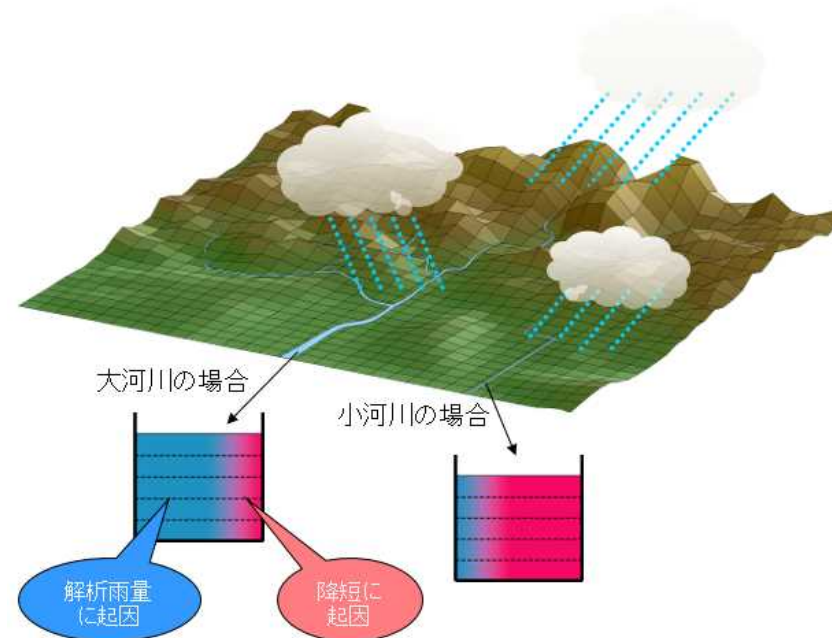


● 上流格子数が多いほど適中率・捕捉率が高い傾向がある

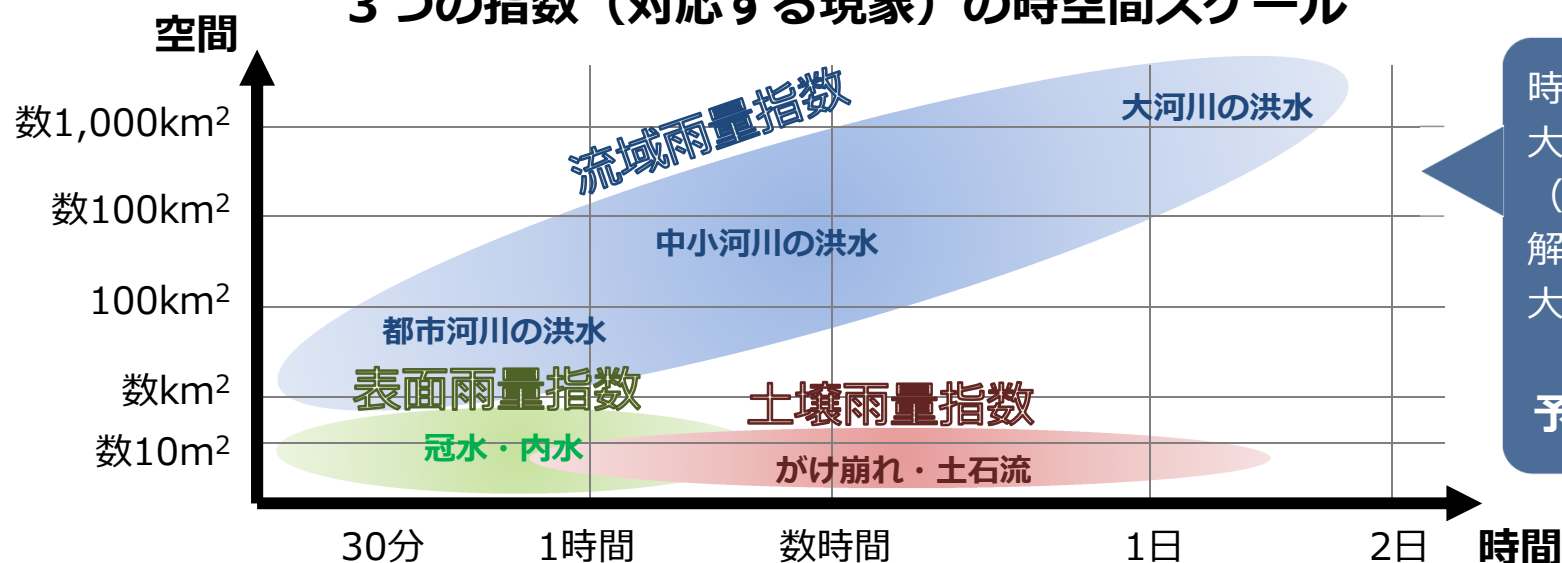
- 流域が大きいほど過去に降った雨が関係してくるため、実況降雨の寄与が大きくなる
- 予測雨量の空間的誤差が緩和され、多少の位置ずれが指数の予測に大きく影響しない

各指数の時空間スケールと予測特性の関係

- タンク内の水には過去に降った雨（解析雨量）も含まれる。したがって3つの指数は、予想雨量を単体で用いる場合に比べ、**時間・空間スケールが大きいほど過去の解析雨量の寄与が大きくなり、予想誤差が緩和される** → 危険性を、より精度よく評価できる
- 流域雨量指数では、流下による時間効果や流域内での集水の効果も加わるため、さらに予測精度が高まる。



3つの指数（対応する現象）の時空間スケール



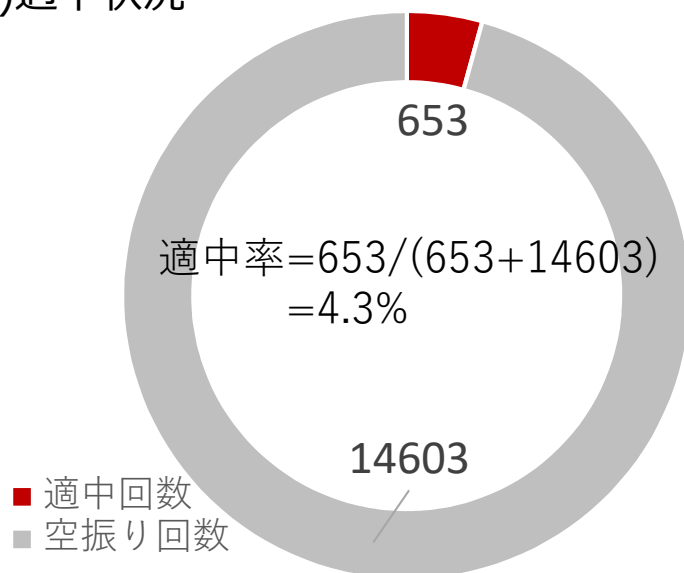
危険度と災害発生との統計評価

土砂災害の危険度と災害との関係

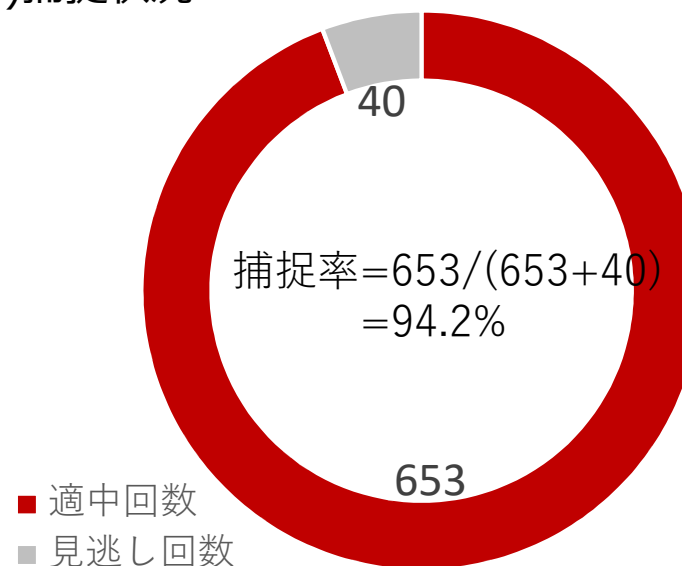
- 期間
2009～2020年の12年間
- データ
災害データ：各都道府県の砂防部局から収集したもの
危険度データ：リアルタイムで計算した10分毎の土砂災害の危険度
- 検証方法
土砂災害警戒情報の発表単位で、CL※対象災害発生状況とCL超過状況を比較し、
「CL対象災害発生あり/なし」「CL基準超過あり/なし」の適中・捕捉・見逃し・
空振りを判定し、その合計数を算出
※ CL：土砂災害警戒情報の発表基準

土砂災害の危険度と災害との関係

(a)適中状況



(b)捕捉状況



適中率は約4%と低い一方、捕捉率は約94%と高い

土砂災害に関する観測データ不足、その予測の難しさ、ひとたび現象が発生した場合の被害への影響等を理由にCLがより安全側に設定されていることが考えられる。

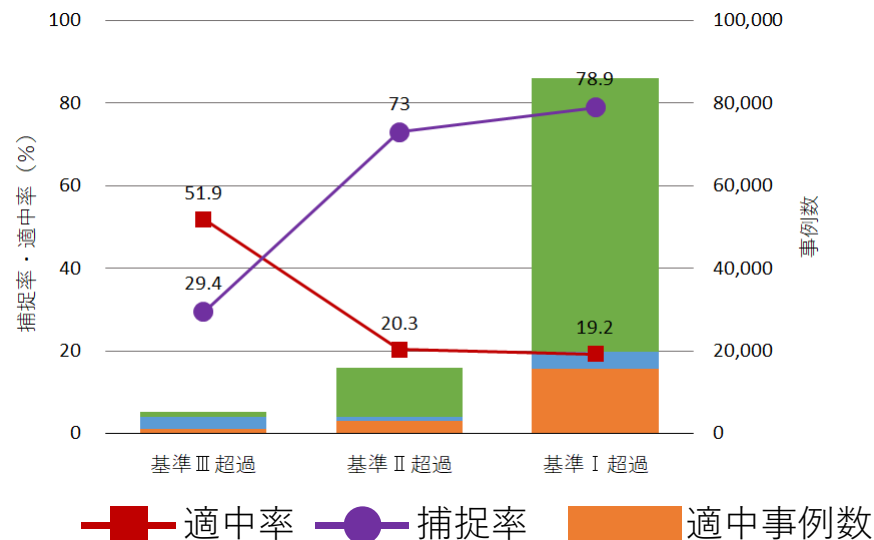
対象となる土砂災害によってこの成績が変わることにも留意が必要。

浸水害及び洪水災害の危険度と災害との関係

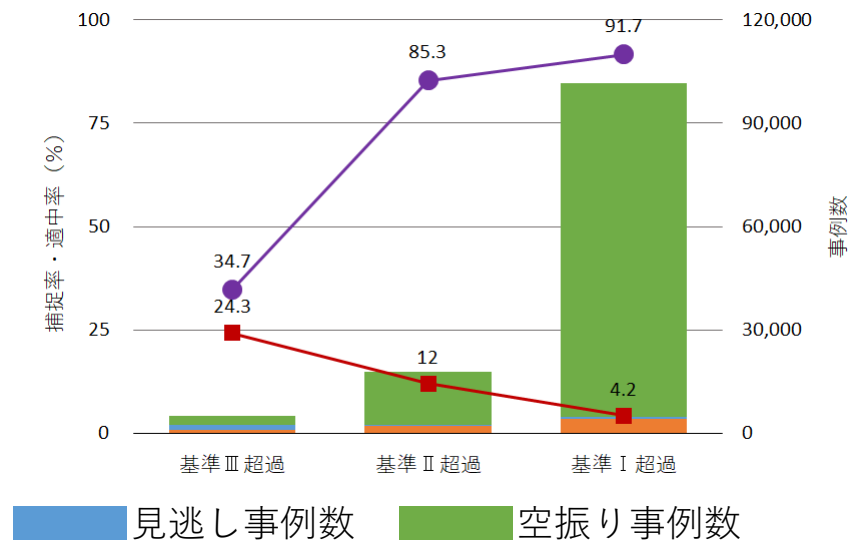
- 期間
1991～2019年の29年間
- データ
災害データ：国土交通省で取りまとめている水害統計資料及び自治体等から
提供いただいた災害資料を気象台において整理したもの
危険度データ：リアルタイムで計算した10分毎の浸水害及び洪水災害の危険度
- 検証方法
二次細分区域ごとに、警報・注意報対象災害（二次細分区域ごとに異なる）の発生事例/非発生事例を整理し、各基準（基準Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ）の「対象災害発生あり/なし」「基準判定超過あり/なし」の適中・見逃し・空振りの合計数及び適中率と捕捉率を算出

浸水害及び洪水災害の危険度と災害との関係

(a) 浸水害



(b) 洪水災害



- 基準Ⅲは極めて適中率が高い。一方で基準Ⅲ、Ⅱの見逃し率はそれぞれ約71%、27%となっている。このことは、短時間強雨により局地的に発生する浸水害を適切に捕捉することの難しさを表している。
- 市町村等の防災対応に支障をきたさないよう、現在の基準値は過度に空振り回数が増えないように設定されている。

- 基準Ⅲを超過した場合の適中率は約25%と低めの値になっている一方、対象災害の捕捉率は基準Ⅱが約85%、基準Ⅰが約92%と捕捉重視の基準設定となっている。
- 洪水氾濫は発現頻度が低い一方、発生時には大きな被害をもたらすこともあるため、浸水害とは逆に、基準超過回数の許容範囲内で可能な限り災害を捕捉するよう設定されている。

近年の大雨事例での検証

令和元年東日本台風

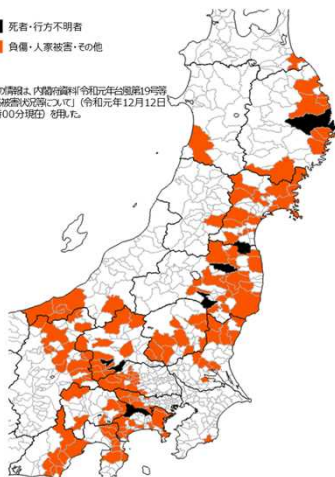
(土砂災害、洪水被害の発生状況と当時の危険度分布の期間最大値の比較)

(a) 土砂災害

土砂災害のあった市町村

- 死者・行方不明者
- 負傷・人家被害・その他

※ 被害の情報は、内閣府資料「令和元年台風第19号に係る被害状況等について」(令和元年12月12日15時00分現在)を基に集めた。

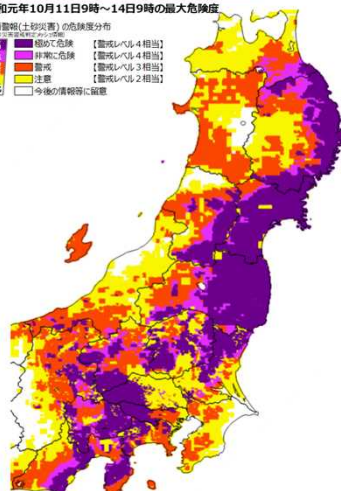


土砂キキクル

令和元年10月11日9時～14日9時の最大危険度

大雨警報(土砂災害)の危険度分布

- 極めて危険 【警戒レベル4相当】
- 非常に危険 【警戒レベル3相当】
- 警戒 【警戒レベル2相当】
- 注意 【警戒レベル1相当】
- 今後の情報等に留意



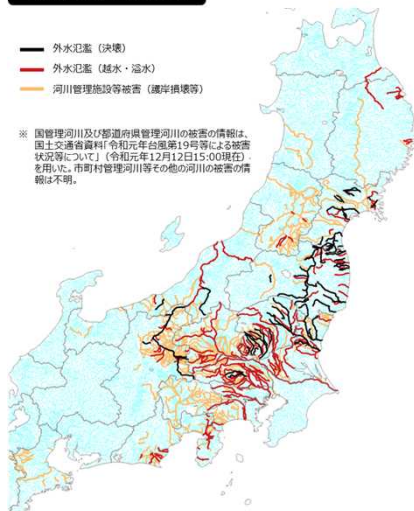
- 危険度分布で「警戒」(赤)以上が出現した地域・河川において必ずしも被害発生は確認されていないものの、被害のあった市町村・河川では概ね危険度分布で「警戒」(赤)以上が出現している。
- 死者・行方不明者を伴う土砂災害が発生した市町村、または、決壊による外水氾濫が発生した河川では、その多くで、当時の危険度分布で最大の危険度であった濃い紫(指数が警報を大きく超えた基準、あるいは土砂災害警戒情報の発表基準を実況で超過)が出現していた。

(b) 洪水害

洪水被害のあった河川

- 外水氾濫(決壊)
- 外水氾濫(越水・溢水)
- 河川管理施設等被害(護岸損壊等)

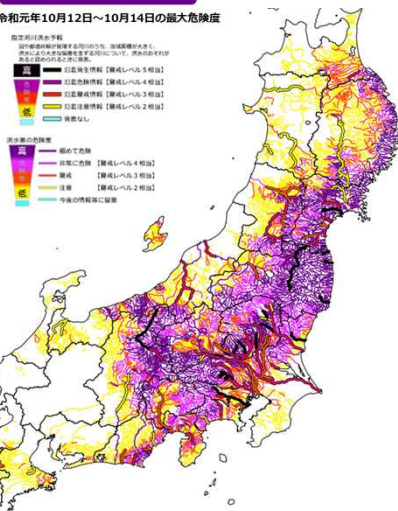
※ 国管理河川及び都道府県管理河川の被害の情報は、国土交通省資料「令和元年台風第19号等による被害状況等について」(令和元年12月12日15時00分現在)を用いた。市町村管理河川等その他の河川の被害の情報は不明。



洪水キキクル

令和元年10月12日～10月14日の最大危険度

- 極めて危険 【警戒レベル4相当】
- 非常に危険 【警戒レベル3相当】
- 警戒 【警戒レベル2相当】
- 注意 【警戒レベル1相当】
- 今後の情報等に留意

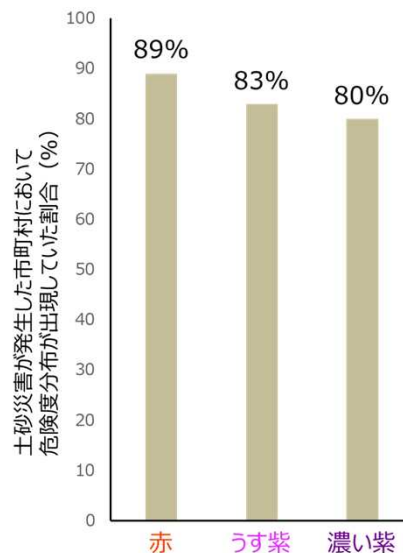
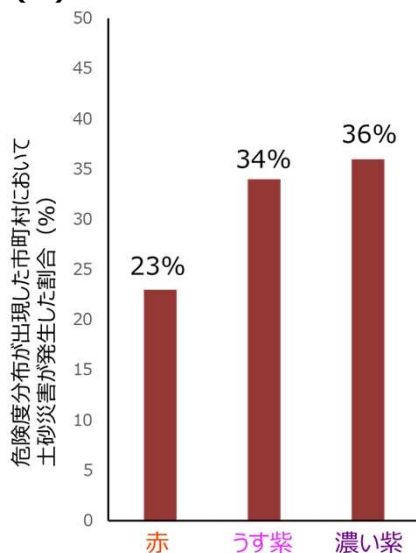


※ 被害の情報は内閣府資料「令和元年台風第19号等に係る被害状況等について」(令和元年12月12日15時00分現在)を使用

令和元年東日本台風

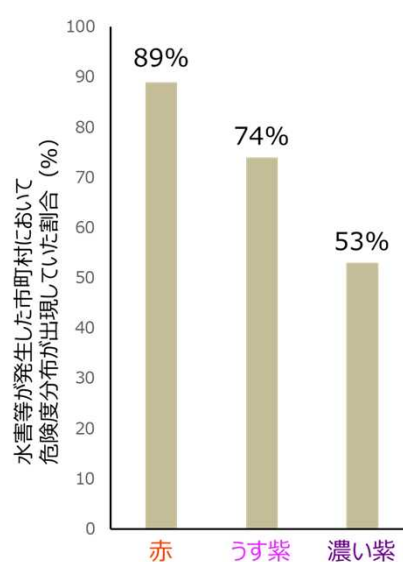
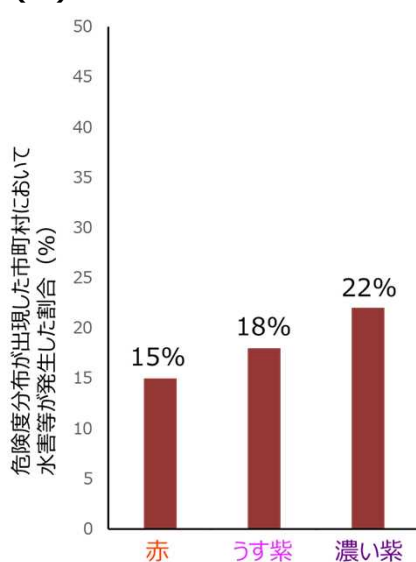
(災害発生に対する土砂災害及び洪水害の危険度の適中率・捕捉率)

(a)土砂災害



- 土砂災害・洪水害ともに危険度が
高くなるほど適中率が高くなっている。
- 捕捉率は危険度が低いほど高くなる
傾向がみられる。

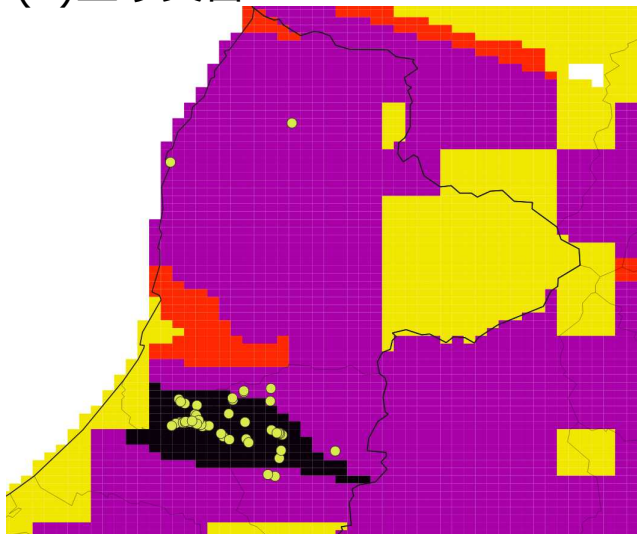
(b)洪水害



- ※ 土砂災害については市町村単位、
洪水害については河川単位でスコアを集計
- ※ 被害の情報は内閣府資料「令和元年台風第19号
等に係る被害状況等について」
(令和元年12月12日15時00分現在)を使用

令和4年8月3～4日新潟県特別警報事例

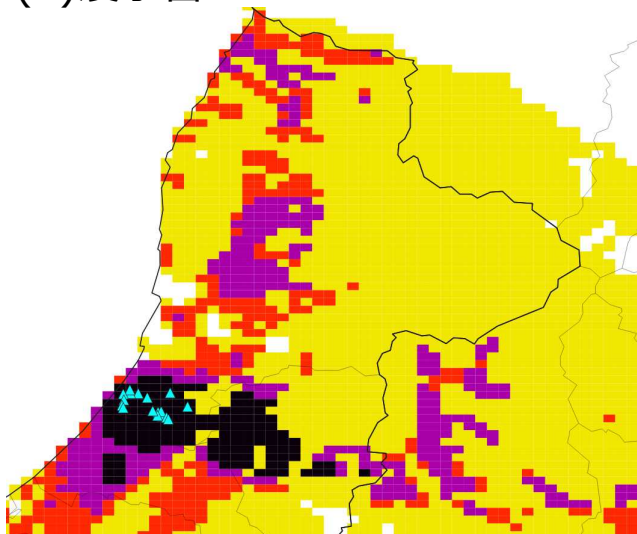
(a)土砂災害



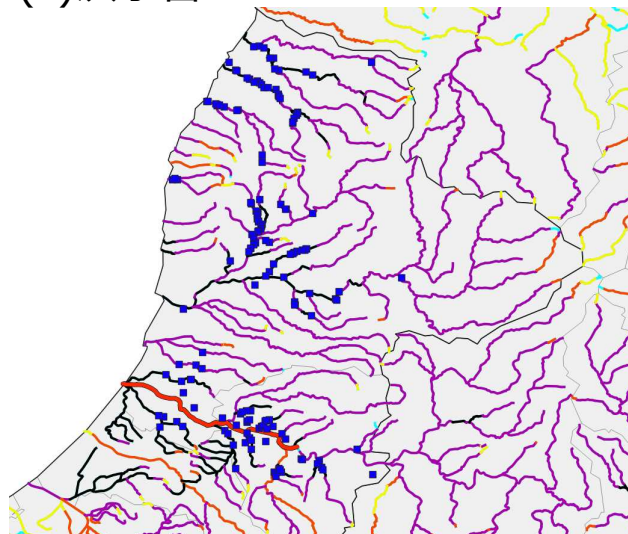
- 土砂災害、浸水害、洪水害で災害発生が多い地域が異なるが、最大危険度の分布でも、それぞれの災害が多かった地域において黒が出現していたことがわかる。
- なお、ここでの検証は災害発生時刻を考慮していないため、必ずしも災害発生のタイミングで黒が出現したとは限らないことに留意する必要がある。

図：危険度が高まった3日12時～4日12時の最大危険度の分布と新潟県村上市及び関川村で発生した災害発生状況のプロット

(b)浸水害



(c)洪水害



※ 土砂災害・洪水害の情報は新潟県土木部提供。浸水害の情報は、国土地理院が作成した浸水推定図をもとに、浸水想定域が含まれる1km格子をプロットした。

入手可能なプロダクト

プロダクト	配信資料に関する仕様
土壌雨量指数（実況値、6時間予想値）	No10401
流域雨量指数（実況値、1時間予想値、6時間予想値）	No10501
表面雨量指数（実況値、1時間予想値、6時間予想値）	No10601
大雨警報（土砂災害）の危険度分布	No10701
大雨警報（浸水害）の危険度分布	No10702
洪水警報の危険度分布	No10703
洪水警報の危険度分布（流路）	No10704
大雨警報（浸水害）・洪水警報の危険度分布（統合版）	No10705

<https://www.data.jma.go.jp/suishin/shiyou/>

測候時報 第90巻:8 2023

解説

雨による災害危険度を表す指数と警報の危険度分布

大気海洋部気象リスク対策課¹

要 旨

気象庁では、雨による災害危険度を表す「指数」を用いて大雨・洪水警報等を発表するとともに、警報基準等への到達状況を地図上に示した「危険度分布」(キキクル)を提供して、大雨時に自治体が発令する避難指示の発令判断や住民の避難の判断等を支援している。本稿では、指数や危険度分布の歴史的経緯をまとめ、危険度分布の技術的背景となる指数の計算方法から基準の設定までを体系的に解説する。また、指数・危険度分布の精度や利用上の留意点を示し、危険度分布の効果的な活用方法について紹介する。

1. はじめに

気象庁では、平成20年(2008年)以降、大雨・洪水警報等の発表基準として、雨量に代わる災害との対応の良い指数(土壌雨量指数・表面雨量指数・流域雨量指数)の導入を順次進めてきた。これら指数の導入によって警報・注意報等の精度を向上させるとともに、平成29年(2017年)7月からは、警報基準等への到達状況を地図上に表示した「危険度分布」(キキクル)の運用を開始した。さらに令和4年(2022年)6月には、大雨特別警報の基準超過状況を黒で表示するなど、警戒レベルに対応した危険度分布の提供を開始した。そして、危険度分布の運用開始から6年が経過し、これら危険度分布は、大雨時に自治体が発令する避難指示や住民の避難の判断に活用されるなど、な

くてはならない防災気象情報と1つとなっている。

開発当時の担当部署であった予報部予報課水理・防災班(後の気象防災推進室)、そして現在の大気海洋部気象リスク対策課において長年進めてきた、雨量を災害リスクに翻訳する一連の技術開発と防災気象情報の改善は、警戒レベルに対応した危険度分布の提供によって一つの節目を迎えたといえる。今後は、従前から取り組んできた危険度分布の普及啓発や自治体支援等をより一層強化・推進していくことが重要となる。

これまで、指数や危険度分布に関する技術改良や業務改善については、その都度、測候時報や研究時報、予報技術研修テキスト等で報告されてきたが、これらが体系的にまとめられた技術解説資料は存在しない。そこで今回、これまでの技術資

¹ 太田 琢磨(現 気象研究所応用気象研究部)、橋口 洋治、堀田 純司、傍嶋 明(現 大気海洋部予報課)、矢野 敦久(現 水管理・国土保全局砂防部)、長岡 祐(令和5年度在籍)、館野 聡、村上 喜章(現 情報基盤部情報利用推進課)、岡本 知也、千葉松 聡(現 大気海洋部業務課)、坪井 嘉宏、竹 順哉(令和6年2月16日発行)

測候時報 第90巻:8 2023
雨による災害危険度を表す指数と警報の危険度分布
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/90/vol90_8.pdf

